

**Surface treatment machine - has high-speed tool spindle mounted in chuck which is maintained at constant temp. for precise position control in two dimensions**

**Publication number:** DE4115512

**Publication date:** 1992-11-12

**Inventor:** FRITZ HERMANN DR (DE); RIEKER HARTMUT (DE)

**Applicant:** EX CELL O GMBH (DE)

**Classification:**

**- International:** *B23B19/02; B23B31/20; B23Q1/34; B23Q11/14; B23Q17/24; G05B19/404; B23B19/00; B23B31/20; B23Q1/26; B23Q11/14; B23Q17/24; G05B19/404; (IPC1-7): B23Q1/08; B23Q11/14; B23Q16/00; B23Q17/22; G01B21/22; G05B19/18*

**- European:** B23B31/20B1; B23Q1/34; B23Q11/14; B23Q17/24; G05B19/404

**Application number:** DE19914115512 19910511

**Priority number(s):** DE19914115512 19910511

**Report a data error here**

**Abstract of DE4115512**

The workpiece (16) is secured (14) to a spindle (12) driven in the z direction on a slider (22) by a z-axis motor (28). It is machined by a milling tool (20) rotating on another spindle (18) set into a temp.-controlled chuck (34) on an x-axis slider (36) driven by another motor (40). The chuck (34) incorporates serpentine channels (78,80) through which oil (88) is pumped (94) at a constant temp. set by a heating/cooling element (90). ADVANTAGE - More precise machining is achievable with compensation for deviation of tool spindle axis from exactly defined position w.r.t. workpiece spindle axis.

---

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①2 **Offenlegungsschrift**  
①0 **DE 41 15 512 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**B 23 Q 11/14**  
B 23 Q 1/08  
B 23 Q 16/00  
B 23 Q 17/22  
G 05 B 19/18  
G 01 B 21/22  
// B 23 F 13/00

DE 41 15 512 A 1

②1 Aktenzeichen: P 41 15 512.2  
②2 Anmeldetag: 11. 5. 91  
④3 Offenlegungstag: 12. 11. 92

⑦1 Anmelder:

Ex-Cell-O GmbH, 7332 Eislingen, DE

⑦4 Vertreter:

Stellrecht, W., Dipl.-Ing. M.Sc.; Griebach, D.,  
Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Haecker, W., Dipl.-Phys.;  
Böhme, U., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Beck, J.,  
Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Wößner, G., Dipl.-Chem.  
Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 7000 Stuttgart

⑦2 Erfinder:

Fritz, Hermann, Dr., 7075 Mutlangen, DE; Rieker,  
Hartmut, 7335 Salach, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Oberflächenbearbeitungsmaschine

⑤7 Um eine Oberflächenbearbeitungsmaschine, umfassend ein Maschinengestell, eine Werkzeugspindel mit einer Werkzeugspindelachse und eine Werkstückspindel mit einer parallel zur Werkzeugspindelachse ausgerichteten Spindelachse, wobei die Werkzeugspindel und die Werkstückspindel relativ zueinander in Richtung einer senkrecht zur Spindelachse verlaufenden X-Achse und einer parallel zur Spindelachse verlaufenden Z-Achse bewegbar sind, derart zu verbessern, daß eine noch höhere Präzision der bearbeiteten Oberflächen erreichbar ist, wird vorgeschlagen, daß die Werkzeugspindel eine Hochgeschwindigkeitsspindel ist und daß die Hochgeschwindigkeitsspindel von einer temperierten Spindelaufnahme gehalten ist.

DE 41 15 512 A 1

Die Erfindung betrifft eine Oberflächenbearbeitungsmaschine, umfassend ein Maschinengestell, eine Werkzeugspindel mit einer Werkzeugspindelachse und eine Werkstückspindel mit einer parallel zur Werkzeugspindelachse ausgerichteten Spindelachse, wobei die Werkzeugspindel und die Werkstückspindel relativ zueinander in Richtung einer senkrecht zur Spindelachse verlaufenden X-Achse und einer parallel zur Spindelachse verlaufenden Z-Achse bewegbar sind.

Eine derartige Oberflächenbearbeitungsmaschine ist beispielsweise aus der DE-OS 39 01 621 bekannt.

Diese Oberflächenbearbeitungsmaschinen sind vorzugsweise für Oberflächenbearbeitungsaufgaben vorgesehen, bei denen zwei Planflächen mit möglichst hoher Genauigkeit plan und parallel zueinander und zusätzlich noch senkrecht zu diesen Planflächen stehende Konturflächen möglichst konturgenau in einer Aufspannung herzustellen sind.

Derartige Oberflächenbearbeitungsmaschinen werden beispielsweise zur Herstellung von Spiralkompressorgehäusen eingesetzt, von denen jedes Gehäuseteil eine spiralförmige Wand aufweist, deren Oberfläche in Form einer Kreisevolvente zu bearbeiten ist. Diese beiden spiralförmigen Wände der Gehäuseteile greifen im Betrieb derselben ineinander, wobei die bearbeiteten Oberflächen der spiralförmigen Wände Dichtflächen zwischen den beiden Gehäuseteilen bilden.

Um eine möglichst gute Abdichtung zwischen den beiden Gehäuseteilen zu erreichen, werden höchste Anforderungen an die Präzision der Oberflächen der spiralförmigen Wände, der Grundfläche und der Stirnfläche, gestellt.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Oberflächenbearbeitungsmaschine gemäß der DE-OS 39 01 621 derart zu verbessern, daß eine noch höhere Präzision der bearbeiteten Oberflächen erreichbar ist.

Diese Aufgabe wird bei einer Oberflächenbearbeitungsmaschine der eingangs beschriebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Werkzeugspindel eine Hochgeschwindigkeitsspindel ist und daß die Hochgeschwindigkeitsspindel von einer temperierten Spindelaufnahme gehalten ist.

Der Vorteil der erfindungsgemäßen Lösung ist darin zu sehen, daß mit der temperierten Spindelaufnahme die Möglichkeit gegeben ist, ein Abweichen der Werkzeugspindelachse von einer genau definierten Position relativ zur Spindelachse der Werkstückspindel zu kompensieren und somit die Voraussetzung für eine noch genauere Bearbeitung der Oberflächen in der gewünschten Form zu schaffen.

Besonders vorteilhaft ist es dabei, wenn die Spindelaufnahme so ausgebildet ist, daß sich bei Temperierung derselben die Lage der Werkzeugspindelachse in Richtung senkrecht zur X- und Z-Achse exakt positionieren läßt, das heißt, daß die Temperierung dazu ausgenützt wird, die Werkzeugspindelachse genau in dieser Richtung zu positionieren.

Ein besonders bevorzugtes Ausführungsbeispiel sieht vor, daß die Spindelaufnahme so ausgebildet ist, daß bei Temperierung derselben die Werkzeugspindelachse in einer zur X- und Z-Achse parallelen und durch die Spindelachse hindurchgehenden Verfahrensebene positionierbar ist.

Bei diesem Ausführungsbeispiel ist die Verfahrensebene die Ebene, in welcher unabhängig von der X- und Z-Achsen-Stellung sowohl die Werkzeugspindelachse

als auch die Spindelachse liegen und relativ zueinander durch beispielsweise eine Steuerung positionierbar sind. Die exakte Ausrichtung beider Achsen in der Verfahrensebene ist die Voraussetzung für eine hochgenaue Oberflächenbearbeitung mit der erfindungsgemäßen Oberflächenbearbeitungsmaschine.

Ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel sieht eine Temperiereinrichtung vor, welche die Spindelaufnahme auf einer vorwählbaren Temperatur hält, wobei die Vorwahl der Temperatur vorzugsweise so erfolgt, daß die Werkzeugspindelachse in ihrer genau definierten Position relativ zur Spindelachse steht.

Günstigerweise ist die Temperiereinrichtung so ausgebildet, daß die Temperatur der Spindelaufnahme zur Justierung der Werkzeugspindelachse einstellbar ist. Damit läßt sich eine Justierung der Lage der Werkzeugspindel über die Einstellung der Temperatur für die Spindelaufnahme erreichen.

Ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Lösung sieht vor, daß die Spindelaufnahme Temperierkanäle für ein Medium zur Temperierung aufweist, wobei die Temperierkanäle Teil der Temperiereinrichtung sind. Darüber hinaus ist zweckmäßigerweise vorgesehen, daß die Temperiereinrichtung eine Temperieranlage für das Medium zur Temperierung der Spindelaufnahme aufweist.

Die Temperierung des Mediums könnte beispielsweise bei den vorgenannten Ausführungsbeispielen der Temperiereinrichtung im Durchfluß erfolgen. Dies hat jedoch den Nachteil, daß sehr leicht große Temperaturschwankungen im Medium auftreten. Vorteilhaft ist es daher, wenn die Temperieranlage ein Bad für das Medium aufweist, in welchem ein Temperatursausgleich stattfindet und sich somit große Temperaturschwankungen im Medium verhindern lassen.

Besonders zweckmäßig ist es, um die Temperaturschwankungen zu unterbinden, wenn das Medium nicht in Durchfluß temperierbar ist, sondern wenn das Bad temperierbar ist. Dadurch wird die Möglichkeit einer Temperaturregelung des Mediums mit möglichst geringen Temperaturschwankungen geschaffen.

Bei den bislang beschriebenen Ausführungsbeispielen kann die Spindelaufnahme selbst in der unterschiedlichsten Art und Weise ausgebildet sein.

Ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel sieht vor, daß die Spindelaufnahme ein sich quer zur X- und Z-Achse erstreckendes Tragelement aufweist, welches temperierbar ist.

Vorzugsweise ist das Tragelement so ausgebildet, daß es sich quer zur Verfahrensebene und insbesondere senkrecht zu dieser erstreckt.

Um eine genaue Ausrichtung der Spindel bei einer Formänderung des Tragelements zu erreichen, ist dieses bei einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel so ausgebildet, daß es eine Mittenaufhängung für die Werkzeugspindel ist.

Ein Ausführungsbeispiel des Tragelements sieht vor, daß dieses zwei Tragschenkel aufweist, zwischen welchen die Werkzeugspindel aufgenommen ist. Damit bildet das Tragelement sowohl eine Mittenaufhängung als auch eine stabile Lagerung für die Werkzeugspindel.

Das Tragelement selbst könnte vollständig von Temperierkanälen durchsetzt sein. Ein wesentlicher Teil der erfindungsgemäßen Wirkung wird jedoch dann erreicht, wenn die Tragschenkel mit Temperierkanälen durchsetzt sind.

Mit den bislang beschriebenen Ausführungsbeispielen der erfindungsgemäßen Lösung läßt sich eine sehr

genaue Position der Werkzeugspindelachse relativ zur Spindelachse erreichen. Noch größer ist jedoch die Präzision, wenn die Werkzeugspindel temperierbar ist, so daß mit der Temperierung der Werkzeugspindel selbst zusätzlich zur Spindelaufnahme auch noch alle Ungenauigkeiten durch Temperaturschwankungen innerhalb der Werkzeugspindel ausgeglichen werden können.

Besonders günstig ist es dabei, wenn die Werkzeugspindel eine Werkzeugspindelwelle und einen auf dieser sitzenden Spindelmotor aufweist, welcher temperierbar ist.

Zur Temperierung des Spindelmotors ist im einfachsten Fall vorgesehen, daß dieser temperierbare Statorwicklungen aufweist.

Die Temperierbarkeit der Statorwicklungen ist konstruktiv am einfachsten dadurch erreichbar, daß die Statorwicklungen Temperierkanäle für ein Medium aufweisen, wobei auch diese Temperierkanäle in gleicher Weise wie bei der Spindelaufnahme von dem Medium zur Temperierung durchströmt werden.

Darüber hinaus sieht ein weiteres vorteilhaftes Ausführungsbeispiel vor, daß die Werkzeugspindelwelle in temperierten Spindellagern der Werkzeugspindel gehalten ist.

Eine Temperierung der Spindellager ist beispielsweise dadurch realisierbar, daß Lageraußenringe eines der Spindellager temperiert sind. Auch die Temperierung der Lageraußenringe läßt sich konstruktiv einfach dadurch lösen, daß die Lageraußenringe Temperierkanäle aufweisen.

Darüber hinaus sieht eine weitere vorteilhafte Möglichkeit der Temperierung der Spindellager vor, daß diese durch diese hindurchströmendes Schmieröl gekühlt sind.

Ein besonders vorteilhaftes Ausführungsbeispiel sieht im Rahmen der erfindungsgemäßen Lösung vor, daß das Schmieröl für die Spindellager auch gleichzeitig als Medium verwendet wird, um alle mit Temperierkanälen versehenen Teile zu temperieren, so daß über den Schmierölkreislauf für die Spindellager gleichzeitig ein Kreislauf für das Medium zum Temperieren der einzelnen Teile geschaffen ist.

Alternativ oder ergänzend zur vorstehend beschriebenen Lösung der erfindungsgemäßen Aufgabe durch die Temperierung der Spindelaufnahme sieht eine weitere Lösung der erfindungsgemäßen Aufgabe vor, daß bei einer Oberflächenbearbeitungsmaschine der eingangs beschriebenen Art die Werkzeugspindel eine Aufnahme für ein Werkzeug mit einem Zylinderschaft aufweist.

Eine derartige Aufnahme für ein Werkzeug mit einem Zylinderschaft hat gegenüber einer Aufnahme für ein Werkzeug mit einem üblicherweise verwendeten Steilkegel den Vorteil, daß das Werkzeug wesentlich präziser relativ zur Werkzeugspindelachse positionierbar ist und sich somit ebenfalls die Genauigkeit der Oberflächenbearbeitung mit der erfindungsgemäßen Oberflächenbearbeitungsmaschine steigern läßt.

Besonders zweckmäßig ist es bei dieser Aufnahme, wenn diese so ausgebildet ist, daß der Zylinderschaft in zwei in Richtung der Werkzeugspindelachse beabstandeten Spannbereichen spannbar ist. Dadurch läßt sich eine weitere Steigerung der Präzision der Spannung des Zylinderschaftes erreichen.

Noch besser wird die Ausrichtung des Werkzeugs relativ zur Spindelachse dann, wenn die Werkzeugspindel eine stirnseitige Plananlagefläche für eine Plananlage des Werkzeugschafes aufweist. Ergänzend zur Ver-

wendung eines Zylinderschaftes ist noch die Ausrichtung einer Achse des Werkzeugs zur Werkzeugspindelachse verbessert.

Ergänzend oder alternativ zu der vorstehend beschriebenen Lösung wird die erfindungsgemäße Aufgabe bei einer Oberflächenbearbeitungsmaschine, umfassend ein Maschinengestell, eine Werkzeugspindel mit einer Werkzeugspindelachse und eine Werkstückspindel mit einer parallel zur Werkzeugspindelachse ausgerichteten Spindelachse, wobei die Werkzeugspindel und die Werkstückspindel relativ zueinander in Richtung einer senkrecht zur Spindelachse verlaufenden X-Achse und einer parallel zur Spindelachse verlaufenden Z-Achse bewegbar sind, erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Werkstückspindel ein Spannfutter für ein Werkstück aufweist, welches direkt mit einer Motorwelle eines Spindelmotors der Werkstückspindel verbunden ist, wobei diese direkte Verbindung im Sinne der vorliegenden Erfindung auch dann gegeben ist, wenn das Spannfutter nicht direkt auf der Motorwelle sitzt, sondern auch einer Spindelwelle die ihrerseits direkt mit der Motorwelle verbunden ist.

Durch diese Verbindung des Spannfutters mit der Motorwelle des Spindelmotors der Werkstückspindel wird die Möglichkeit geschaffen, zusätzlich noch das Spannfutter möglichst präzise relativ zur Spindelachse der Werkstückspindel auszurichten.

Ergänzend dazu läßt sich die Präzision der Führung des Spannfutters noch dadurch erhöhen, daß das Spannfutter von einem Hochpräzisionslager geführt ist. Vorzugsweise ist dabei dieses Hochpräzisionslager unmittelbar hinter dem Spannfutter angeordnet, so daß das Spannfutter selbst weitgehend durch das Hochpräzisionslager geführt ist und sich weitere Ungenauigkeiten durch die Führung der Motorwelle nicht auf das Spannfutter auswirken.

Generell ist für die Erfassung der als C-Achse betriebenen Werkstückspindel ein Drehgeber erforderlich. Um die Position der Werkstückspindel besonders genau zu erfassen, weist die Werkstückspindel ein dem Spannfutter nah angeordneten Drehgeber für die Erfassung der C-Achsen-Stellungen des Spannfutters auf.

Eine besonders einfache Art der Anordnung des Drehgebers in Spannfutternahposition sieht vor, daß der Drehgeber zwischen dem Spannfutter und dem Spindelmotor angeordnet ist.

Da andererseits das Spannfutter möglichst präzise durch das Hochpräzisionslager geführt werden soll, und somit zwischen dem Hochpräzisionslager und dem Spannfutter ein möglichst geringer Abstand vorliegen soll, ist vorteilhafterweise vorgesehen, daß der Drehgeber auf einer dem Spannfutter gegenüberliegenden Seite des Hochpräzisionslagers angeordnet ist.

Um das Spannfutter möglichst vorteilhaft ansteuern und versorgen zu können ist vorzugsweise eine Spindelwelle und eine mit dieser verbundene Motorwelle der Werkstückspindel als Hohlwelle ausgebildet.

Insbesondere vorteilhaft ist es dann dabei, wenn durch die Hohlwellen Leitungen für die Betätigung des Spannfutters geführt sind, wobei es sich insbesondere um Hydraulikleitungen zur Betätigung des Spannfutters handelt. Außerdem ist es denkbar, Leitungen für Sensorabfragen durch die Hohlwellen zu führen, um ebenfalls das Spannfutter richtig zu betätigen.

Schließlich ist es denkbar, wenn durch die Hohlwellen eine Leitung für ein Medium zum Reinigen des Spannfutters geführt ist.

Um diese Leitungen in die Hohlwelle einführen zu

können, ist vorzugsweise vorgesehen, daß auf der dem Spannfutter gegenüberliegenden Seite der Motorwelle eine Drehzuführung für die Leitungen angeordnet ist.

Darüber hinaus läßt sich eine weitere Steigerung der Präzision der erfindungsgemäßen Oberflächenbearbeitungsmaschine noch dadurch erreichen, daß die eine der Spindeln am Maschinengestell in Richtung der X-Achse bewegbar gehalten ist und daß die andere Spindel am Maschinengestell in Richtung der Z-Achse bewegbar gehalten ist, so daß jeweils nur eine der beiden Spindeln in einer Richtung verschiebbar ausgebildet sein muß.

Dies läßt sich am vorteilhaftesten dadurch realisieren, daß eine der Spindeln auf einem parallel zur Verfahrebene verfahrbaren X-Schlitten und die andere auf einem parallel zur Verfahrebene verfahrbaren Z-Schlitten sitzt.

Bei den bislang beschriebenen Ausführungsbeispielen wurde nicht im einzelnen festgelegt längs welcher Achsen die Werkstückspindel und die Frässpindel bewegbar sein sollen. Es wäre beispielsweise denkbar, die Werkstückspindel längs der Z-Achse zu bewegen und die Frässpindel längs der X-Achse.

Besonders vorteilhaft ist es jedoch, wenn die Werkzeugspindel in Z-Richtung bewegbar ist und die Werkstückspindel in X-Richtung, da insbesondere Hochgeschwindigkeitsfrässpindeln Erschütterungen erzeugen, welche sich weniger auswirken, wenn eine Frässpindel und der tragende Schlitten während der Oberflächenbearbeitung nicht bewegt werden müssen. Dies ist insbesondere bei den eingangs genannten Oberflächenbearbeitungsaufgaben der Fall, denn bei diesen wird zu Beginn der Bearbeitung eine Zustellbewegung in Richtung der Z-Achse durchgeführt, dann aber die Z-Achse festgehalten und lediglich noch eine Bewegung längs der X-Achse und der C-Achse durchgeführt. Die Drehung der Werkstückspindel um die C-Achse gibt in einem geringeren Maße Anlaß zu Schwingungen, so daß die Bewegung der Werkstückspindel gleichzeitig mit der Verschiebung eines diese tragenden Schlittens längs der X-Achse die Genauigkeit der Oberflächenbearbeitung nicht beeinträchtigt.

Alternativ oder ergänzend zu allen vorstehend beschriebenen Möglichkeiten zum Erreichen der Präzision bei der Oberflächenbearbeitung sieht eine weitere bevorzugte erfindungsgemäße Lösung der Aufgabe vor, daß eine Steuerung für die X-Richtung und für die C-Richtung vorgesehen ist, mit welcher mittels des Werkzeugs eine Kreisevolvente in einem Zug mit einer konstanten Vorschubgeschwindigkeit über die gesamte Evolvente am Werkstück fräsbearbeitbar ist, wobei vorzugsweise die Werkzeugspindel eine Hochgeschwindigkeitsspindel ist.

Mit dieser Lösung der erfindungsgemäßen Aufgabe durch die vorgenannte Steuerung wird die Möglichkeit geschaffen, hohe Oberflächenqualitäten zu erreichen und alle beim Bearbeiten des Werkstücks an diesem und an dem Werkzeug auftretenden Deformationen aufgrund der wirkenden Kräfte auszugleichen, so daß die Qualität der Oberfläche zusätzlich zu der Präzision der Steuerung in X- und C-Richtung noch erheblich gesteigert werden kann, wobei vorzugsweise eine Steuerung des Werkzeugs in Polarkoordinaten erfolgt und aufgrund dieser Polarkoordinaten eine Positionierung in X- und C-Richtung durchgeführt wird.

Alternativ oder ergänzend zu den vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen wird die erfindungsgemäße Aufgabe bei einer Oberflächenbearbeitungsmaschine, umfassend ein Maschinengestell, eine

auf dem Maschinengestell angeordnete Werkzeugspindel mit einem um eine Werkzeugspindelachse herum angeordnete Schneiden aufweisenden Werkzeug und eine auf dem Maschinengestell angeordnete Werkstückaufnahme, wobei die Werkzeugspindel und die Werkstückaufnahme relativ zueinander in Richtung einer senkrecht zur Werkzeugspindelachse verlaufenden X-Achse und einer parallel zur Werkzeugspindelachse verlaufenden Z-Achse bewegbar sind, erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß auf dem Maschinengestell eine Meßeinrichtung angeordnet ist, daß die Werkzeugspindel mit dem Werkzeug relativ zur Meßeinrichtung in eine Meßposition bringbar ist, und daß mit der Meßeinrichtung bei rotierendem Werkzeug eine Flugbahn oder Lage der Schneiden bestimmbar ist.

Der Vorteil der erfindungsgemäßen Lösung ist darin zu sehen, daß mittels der Meßeinrichtung die Möglichkeit geschaffen ist, vor und/oder nach der Bearbeitung des Werkstücks die Flugbahn der Schneiden des Werkzeugs zu bestimmen und somit zu überprüfen, ob diese den Anforderungen an die Genauigkeit der zu bearbeitenden Oberfläche gerecht werden.

Ein besonders vorteilhaftes Ausführungsbeispiel dieser Oberflächenbearbeitungsmaschine sieht dabei vor, daß mit der Meßeinrichtung ein effektiver Durchmesser einer Flugbahn der am weitesten außenliegenden Schneide bestimmbar ist. Da diese am weitesten außenliegende Schneide für den maximalen Durchmesser des Werkzeugs verantwortlich ist, ist es wichtig, deren Flugbahn genau zu bestimmen, da die Schneiden mit weiter innen liegenden Flugbahnen auf das von dem Werkzeug bearbeitete Endmaß keinen Einfluß haben.

Ferner ist es vorteilhaft, um die Bearbeitung entsprechend steuern zu können, wenn mit der Meßeinrichtung die Lage einer dynamischen Werkzeugachse des rotierenden Werkzeugs bestimmbar ist, wobei sich die Lage der dynamischen Werkzeugachse des rotierenden Werkzeugs aus der Mitte des Durchmessers der Flugbahn der am weitesten außen liegenden Schneide ergibt. Insbesondere vorteilhaft ist zumindest die Bestimmung der Lage der dynamischen Werkzeugachse in X-Richtung, da während der Bearbeitung der Oberfläche vornehmlich eine Bewegung längs der X-Achse erfolgt und bei Kenntnis der Lage der dynamischen Werkzeugachse alle Verfahrbewegungen längs der X-Achse bezogen auf die Lage der dynamischen Werkzeugachse erfolgen können. Dies ist insbesondere vorteilhaft bei der Bearbeitung von Kreisevolventenflächen für die Herstellung von Spiralkompressorgehäusen.

Da es zusätzlich bei der Bearbeitung beispielsweise von Spiralkompressorgehäusen darauf ankommt, deren Grundfläche und Stirnfläche präzise zu bearbeiten, ist es außerdem vorteilhaft, wenn mit der Meßeinrichtung die Lage einer Stirnschneide erfaßbar ist, da mit der Stirnschneide die Bearbeitung der Grundfläche und der Stirnfläche derartiger Spiralkompressorgehäuse erfolgt. Insbesondere wird dabei eine Ermittlung einer zur X-Achse parallel liegenden Stirnebene durchgeführt und es werden Abweichungen der Stirnschneide von einer idealen Stirnebene ermittelt.

Besonders vorteilhaft ist es im Rahmen der erfindungsgemäßen Lösung, wenn mit der Meßeinrichtung bei warmgelaufener Werkzeugspindel die Lage der Schneiden bestimmbar ist, da sich bis zum Warmlaufen der Werkzeugspindel die Lage der Schneiden stets geringfügig verändert.

Im übrigen könnte die Meßeinrichtung so ausgebildet sein, daß sie die Lage der Schneiden auf einer Seite der

Werkzeugachse erfaßt und anschließend auf der gegenüberliegenden. Besonders vorteilhaft ist es jedoch, wenn die Meßeinrichtung die Lage der Schneiden in einer durch die Werkzeugachse hindurchgehenden Ebene auf beiden einander gegenüberliegenden Seiten der Werkzeugachse erfaßt.

Da insbesondere bei der Bestimmung der Lage der dynamischen Werkzeugachse die Koordinaten derselben in Richtung der X-Achse für die Genauigkeit der Oberflächenbearbeitung die wichtigsten sind, ist vorteilhafterweise vorgesehen, daß die Ebene parallel zur X-Achse verläuft. Sollte sich eine Bestimmung der Lage der dynamischen Werkzeugachse in Y-Richtung als erforderlich erweisen, so ist die Ebene parallel zur Y-Achse auszurichten, was alternativ oder ergänzend zur Ausrichtung der Ebene parallel zur X-Richtung möglich ist.

Hinsichtlich der Art der Erfassung der Flugbahn und Lage der Schneiden ist es besonders vorteilhaft, wenn die Meßeinrichtung die Lage der Schneiden optisch erfaßt.

Es ist mit besonders hoher Präzision dadurch möglich, daß die Meßeinrichtung die Flugbahn oder Lage dieser Schneide durch Messen einer Abdeckung des Meßstrahls durch diese Schneide erfaßt.

Als besonders günstig hat es sich dabei erwiesen, wenn die Meßeinrichtung die Lage jeder Schneide durch Messen einer Abdeckung des Meßstrahls über einen Teilbereich von dessen Querschnitt erfaßt, so daß die Meßeinrichtung stets noch einen Teil des Meßstrahls empfängt und somit genau bestimmen kann, wie grob der von der Schneide abgedeckte Teilbereich ist.

Alternativ zu einer optischen Erfassung der Flugbahn oder Lage der Schneiden ist es denkbar, wenn die Meßeinrichtung die Flugbahn und Lage der Schneiden kapazitiv erfaßt.

Eine weitere Alternative sieht vor, daß die Meßeinrichtung die Flugbahn oder Lage der Schneiden induktiv erfaßt.

Bei einer induktiven oder kapazitiven Erfassung der Flugbahn oder Lage der Schneiden ist vorgesehen, daß die Meßeinrichtung zwei in zu der Ebene paralleler Richtung auf das Werkstück zustellbare Sensoren aufweist.

Insgesamt wird es dann, wenn nicht nur die Flugbahn der am weitesten außen liegenden Schneide erfaßt werden soll, sondern die Lage der einzelnen Schneiden, erforderlich, über die Drehstellung des Werkzeugs festzustellen, welche der jeweiligen Schneiden zum jeweiligen Zeitpunkt detektiert wird. Aus diesem Grund ist vorgesehen, daß die Meßeinrichtung Markierungen an einem Werkzeugschaft detektiert, welche Aufschluß über die Winkelstellung des Werkzeugs geben.

Besonders günstig ist es dabei, wenn die Meßeinrichtung hierzu einen Drehstellungssensor zum Ablesen von Markierungen, insbesondere an einer Planscheibe des Werkzeugschafts, aufweist.

Vorzugsweise sind die Markierungen als optisch lesbare Markierungen ausgebildet und der Drehstellungssensor ist ein optischer Sensor.

Um definiert die Lage der einzelnen Schneiden festlegen zu können, ist vorzugsweise vorgesehen, daß die Markierungen eine Referenzmarkierung und Winkelmarkierungen umfassen.

In diesem Falle ist es zweckmäßig, wenn die Schneiden am Werkzeug in einem definierten Winkelabstand von der Referenzmarke angeordnet sind.

In einem derartigen Fall ist günstigerweise vorgesehen, daß die Lage der Schneiden bezüglich der Referenzmarke der Meßeinrichtung vorgebar ist, so daß die Meßeinrichtung mittels den vorgegebenen Daten über die Lage der Schneiden jeweils erkennen kann, welche Schneide zum jeweiligen Zeitpunkt detektiert wird.

renzmarke der Meßeinrichtung vorgebar ist, so daß die Meßeinrichtung mittels den vorgegebenen Daten über die Lage der Schneiden jeweils erkennen kann, welche Schneide zum jeweiligen Zeitpunkt detektiert wird.

Vorzugsweise ist in diesem Fall vorgesehen, daß mit der Meßeinrichtung jeweils dann eine Messung der Lage der jeweiligen Schneiden durchführbar ist, wenn die Steuerung mittels des Sensors erkennt, daß die jeweilige Schneide in der Ebene liegt.

Um die Vermessung der Flugbahn der Schneiden möglichst präzise durchführen zu können, ist vorteilhafterweise vorgesehen, daß die Meßeinrichtung fest mit der Werkstückhalteinrichtung verbunden und somit mit der Werkstückhalteinrichtung bewegbar ist, so daß die relative Lage der Meßeinrichtung zur Werkstückhalteinrichtung unveränderbar festliegt.

Ferner wird die erfindungsgemäße Aufgabe bei einem Verfahren zur Bearbeitung eines in einer Werkstückaufnahme gehaltenen Werkstücks mit einem von einer Werkzeugspindel rotierend angetriebenen Werkzeug, welches um eine Werkzeugspindelachse herum angeordnete Schneiden aufweist, wobei das Werkstück und das Werkzeug relativ zueinander in Richtung einer senkrecht zur Spindelachse verlaufenden X-Achse und einer parallel zur Spindelachse verlaufenden Z-Achse bewegt werden, erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß das Werkzeug relativ zu einer Meßeinrichtung in eine Meßposition gebracht wird, und daß mit der Meßeinrichtung bei rotierendem Werkzeug die Flugbahn oder Lage der Schneiden bestimmt wird.

Besonders vorteilhaft ist es dabei, wenn mit der Meßeinrichtung ein effektiver Durchmesser der Flugbahn der am weitesten radial außenliegenden Schneide bestimmt wird.

Ferner ist es günstig, wenn mit der Meßeinrichtung die Lage einer dynamischen Werkzeugachse des rotierenden Werkzeugs bestimmt wird.

Schließlich ist es zweckmäßig, wenn mit der Meßeinrichtung die Lage einer Stirnschneide erfaßt wird.

Darüber hinaus ist es vorteilhaft, wenn mit der Meßeinrichtung bei warmgelaufener Werkzeugspindel die Lage der Schneiden bestimmt wird.

Insbesondere ist es vorteilhaft, wenn mit der Meßeinrichtung jeweils dann eine Messung der Flugbahn oder Lage der jeweiligen Schneide durchgeführt wird, bevor eine Oberflächenbearbeitung einer Serie von Werkstücken begonnen wird oder nach Durchführung einer vorbestimmten Anzahl von Oberflächenbearbeitungsvorgängen, um zu überprüfen, ob für die nächst folgenden Oberflächenbearbeitungsvorgänge die Abmessungen des Werkzeugs den gewünschten Toleranzen entsprechen.

Damit kann beispielsweise im Extremfall vor jeder Bearbeitung eines neuen Werkstücks eine Überprüfung der Flugbahn oder Lage der Schneiden erfolgen.

Besonders zweckmäßig ist es, wenn mit der Meßeinrichtung die Lage der Schneiden in einer durch die Werkzeugachse hindurchgehenden Ebene auf gegenüberliegenden Seiten der Werkzeugachse erfaßt wird.

Eine vorteilhafte Möglichkeit sieht vor, daß die Lage der Schneiden optisch erfaßt wird, wobei insbesondere mit der Meßeinrichtung die Lage jeder Schneide durch Messen einer Abdeckung eines Meßstrahls, vorzugsweise die Abdeckung eines Teilbereichs eines Querschnitts des Meßstrahls, durch diese Schneide erfaßt wird.

Alternativ dazu ist es möglich, wenn mit der Meßeinrichtung

richtung die Lage der Schneiden kapazitiv oder induktiv erfaßt wird.

Darüber hinaus bietet das erfindungsgemäße Verfahren die Möglichkeit, daß mit der Meßeinrichtung die Lage der dynamischen Werkzeugachse relativ zur Werkzeugspindelachse ermittelt wird und somit dadurch bedingte Ungenauigkeiten von der Maschinensteuerung bei der Steuerung der Oberflächenbearbeitung ausgeglichen werden können.

Vorzugsweise wird mit der Meßeinrichtung die Lage jeder einzelnen Schneide in der Ebene gemessen.

Darüber hinaus ist vorzugsweise, insbesondere um festzustellen, welche Schneide in der Ebene liegt, vorgesehen, daß von der Meßeinrichtung mit einem Drehstellungssensor die Drehlage des Werkzeugs bezüglich der Ebene erfaßt wird. Hierzu ist zweckmäßigerweise der Sensor mit am Werkzeug, insbesondere am Werkzeugschaft, angeordneten Markierungen versehen.

Eine Bestimmung der Flugbahn jeder einzelnen Schneide ist dann möglich, wenn mit der Meßeinrichtung jeweils dann eine Messung der Lage der jeweiligen Schneide durchgeführt wird, wenn von der Meßeinrichtung mittels des Sensors erkannt wird, daß die jeweilige Schneide in der Ebene liegt.

Alternativ oder ergänzend zu den vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen wird die eingangs genannte Aufgabe bei einer Oberflächenbearbeitungsmaschine, umfassend ein Maschinengestell, eine auf dem Maschinengestell angeordnete um eine Werkzeugspindelachse drehbare Werkzeugspindel mit einer Werkzeugaufnahme und eine auf dem Maschinengestell angeordnete Werkstückaufnahme, wobei die Werkzeugspindel und die Werkstückaufnahme relativ zueinander in Richtung einer senkrecht zu der Werkzeugspindelachse verlaufenden X-Achse und einer parallel zur Werkzeugspindelachse verlaufenden Z-Achse bewegbar sind, erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß in die Werkzeugaufnahme ein Referenzwerkzeug und in die Werkstückaufnahme eine Kalibriereinrichtung einsetzbar sind, und daß mit der Kalibriereinrichtung eine Null-Lage der Werkzeugspindelachse relativ zur Werkstückaufnahme ausmeßbar ist.

Der Vorteil dieser Lösung ist darin zu sehen, daß hiermit eine exakte Bestimmung der relativen Lage der Werkzeugspindelachse zur Werkstückaufnahme ausmeßbar und kalibrierbar ist.

Der Einfluß kann bei der erfindungsgemäßen Oberflächenbearbeitungsmaschine entsprechend den genannten Merkmalen stets korrigiert werden.

Besonders vorteilhaft ist es dabei, wenn die Werkstückaufnahme als C-Achse drehbar ist, da dann die Kalibriereinrichtung in verschiedene Drehstellungen gedreht werden kann und somit in diesen unterschiedlichen Drehstellungen die Null-Lage der Werkzeugspindelachse ausmeßbar ist.

Darüber hinaus ist es günstig, wenn das Ausmessen der Null-Lage bei rotierendem Referenzwerkzeug, insbesondere warmgelaufener Werkzeugspindel, durchführbar ist.

Im einfachsten Fall ist vorgesehen, daß das Referenzwerkzeug ein Meßdorn mit einer Zylindermantelfläche ist.

Darüber hinaus ist bei einer konstruktiv einfachen Lösung einer Meßeinrichtung vorgesehen, daß diese zwei in einer Ebene eine Außenkontur des Referenzwerkzeugs erfassende Sensoren umfaßt.

Diese Sensoren können kapazitive oder induktive Sensoren sein. Eine weitere bevorzugte Alternative

sieht vor, daß die Sensoren Luftsensoren sind oder daß die Sensoren optische Sensoren sind und insbesondere wie bei der vorstehend beschriebenen Meßeinrichtung ausgebildet und angeordnet sind.

Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel arbeitet so, daß mittels der Meßeinrichtung über die Außenkonturen des Referenzwerkzeugs die Lage der Spindelachse ermittelbar ist.

Darüber hinaus läßt sich die vorstehend beschriebene erfindungsgemäße Lösung dadurch erreichen, daß mit dieser die Parallelität der Werkzeugspindelachse mit der C-Achse durch eine Messung der Außenkontur des Referenzwerkzeugs in zwei in Richtung der Werkzeugspindelachse im Abstand voneinander angeordneten Stellen meßbar ist.

Schließlich wird die eingangs genannte erfindungsgemäße Aufgabe durch ein Verfahren zum Bearbeiten einer Oberfläche eines in einer Werkstückaufnahme gehaltenen Werkstücks mittels eines um eine Werkzeugspindelachse rotierenden und von einer Werkzeugspindel rotierend angetriebenen Werkzeugs, wobei das Werkzeug in die Werkzeugaufnahme relativ zueinander in Richtung einer senkrecht zur Werkzeugspindelachse verlaufenden X-Achse und einer parallel zur Werkzeugspindelachse verlaufenden Z-Achse bewegbar sind, erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß in die Werkzeugspindel ein Referenzwerkzeug eingesetzt wird, daß in die Werkstückaufnahme eine Kalibriereinrichtung eingesetzt wird und daß mit der Kalibriereinrichtung eine Null-Lage der Werkzeugspindelachse relativ zur Werkstückaufnahme ausgemessen wird.

Ein besonders vorteilhaftes Verfahren sieht vor, daß die Meßeinrichtung durch die Werkstückaufnahme um eine C-Achse gedreht wird.

Darüber hinaus ist vorteilhafterweise vorgesehen, daß das Ausmessen der Null-Lage bei rotierendem Referenzwerkzeug, insbesondere bei warmgelaufener Werkzeugspindel, durchgeführt wird.

Vorzugsweise wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren so gearbeitet, daß nach Inbetriebnahme der erfindungsgemäßen Oberflächenbearbeitungsmaschine ein Ausmessen der Null-Lage durchgeführt und darauf folgend eine Korrektur der Null-Lage bezüglich der X-Achse der Steuerung durchgeführt wird und darüber hinaus eine Korrektur der Null-Lage bezüglich einer senkrecht auf der X- und Z-Achse stehenden Y-Achse, vorzugsweise durch Temperieren der Spindelaufnahme durchgeführt wird.

Besonders günstig ist es dabei, wenn mit der Kalibriereinrichtung eine Außenkontur des Referenzwerkzeugs gemessen wird. Ferner ist es von Vorteil, wenn durch Messung der Außenkontur des Referenzwerkzeugs die Lage der Werkzeugspindelachse ermittelt wird.

Schließlich ist es zweckmäßig, wenn von der Kalibriereinrichtung ein Durchmesser der Außenkontur in einer Ebene ermittelt wird und die Mitte des Durchmessers in dieser Ebene als Position der Werkzeugspindelachse definiert wird.

Insbesondere dann, wenn die Kalibriereinrichtung jeweils den Durchmesser der Außenkontur des Referenzwerkzeugs in einer Ebene ermittelt, ist es vorteilhaft, wenn die Lage der Werkzeugspindelachse durch Drehen der Kalibriereinrichtung um die C-Achse ermittelt wird, so daß zumindest in zwei senkrecht aufeinanderstehenden Richtungen, die beide senkrecht zur C-Achse und zur Werkzeugspindelachse stehen, die Null-Lage bestimmt und, wie bereits vorstehend beschrieben, kor-



rigiert wird.

Darüber hinaus ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß die Parallelität der Spindelachse mit der C-Achse mit einer Messung an zwei in Richtung der Werkzeugspindelachse im Abstand voneinander angeordneten Stellen überprüft wird.

Weitere Merkmale und Vorteile der erfindungsgemäßen Lösung sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung sowie der zeichnerischen Darstellung einiger Ausführungsbeispiele. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine Draufsicht auf ein erstes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Oberflächenbearbeitungsmaschine;

Fig. 2 eine Seitenansicht des Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Oberflächenbearbeitungsmaschine in Fig. 1;

Fig. 3 einen Schnitt längs Linie 3-3 in Fig. 2;

Fig. 4 einen Schnitt durch eine als Frässpindel ausgebildete Werkzeugspindel;

Fig. 5 einen Schnitt durch eine Werkzeugspindelwelle derselben;

Fig. 6 eine Draufsicht auf ein Spiralkompressorgehäuse mit einer spiralförmigen Wand, deren Dichtfläche die Form einer Kreisevolvente aufweist.

Fig. 7 eine Draufsicht ähnlich Fig. 1 auf ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Oberflächenbearbeitungsmaschine ähnlich Fig. 1;

Fig. 8 eine Draufsicht auf ein drittes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Oberflächenbearbeitungsmaschine ähnlich Fig. 1 mit einer Meßeinrichtung;

Fig. 9 einen Schnitt durch einen Meßkopf der Meßeinrichtung;

Fig. 10 eine Draufsicht auf einen in einer Werkzeugspindel gehaltenen Fräser;

Fig. 11 einen Schnitt ähnlich Fig. 9 durch eine Variante der Meßeinrichtung;

Fig. 12 eine Draufsicht auf ein drittes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Oberflächenbearbeitungsmaschine mit einer Kalibriereinrichtung.

Ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Oberflächenbearbeitungsmaschine, ausgebildet als Fräsmaschine, umfaßt - wie in Fig. 1 und 2 dargestellt - ein Maschinengestell 10, welches eine als C-Achse betriebene Werkstückspindel 12 mit einem Spannfutter 14 zum Spannen eines Werkstücks 16 sowie eine als Werkzeugspindel dienende Frässpindel 18 zum Bearbeiten des Werkstückes mittels eines Fräasers 20 trägt.

Die Werkstückspindel 12 ist dabei auf einem Z-Schlitten 22 montiert, der seinerseits auf Z-Führungen 24 des Maschinengestells 10 in einer Z-Richtung verschieblich gelagert ist. Die Z-Richtung verläuft dabei parallel zu einer Spindelachse 26 der Werkstückspindel 12.

Zum Verschieben der Werkstückspindel 12 in Z-Richtung ist an dem Maschinengestell 10 ein Z-Achsenantrieb 28 angeordnet, welcher beispielsweise über eine Z-Vorschubspindel 30 den Z-Schlitten 22 bewegt, wobei die Z-Vorschubspindel 30 eine am Z-Schlitten 22 gehaltene Spindelmutter 32 durchsetzt.

Die Frässpindel 18 ist ihrerseits mittels einer Spindelaufnahme 34 auf einem X-Schlitten 36 gelagert, welcher auf X-Führungen 38 des Maschinengestells 10 in einer X-Richtung mittels eines X-Achsenantriebs 40 verschiebbar ist, der ebenfalls seinerseits eine X-Vorschubspindel 42 antreibt, welche eine fest am X-Schlitten 36 gehaltene Spindelmutter 44 durchsetzt. Die X-Richtung verläuft dabei senkrecht zur Spindelachse 26 und zur Z-Richtung.

Die Frässpindel 18 ist mit einer als Werkzeugspindel

dienenden Frässpindelachse 46 so auf dem X-Schlitten 36 gehalten, daß die Frässpindelachse 46 parallel zur Spindelachse 26 verläuft.

Erfindungsgemäß sind die Frässpindelachse 46 und die Spindelachse 26 in einer gemeinsamen Verfahrensebene 50 angeordnet, welche parallel zu der X-Richtung und der Z-Richtung verläuft, so daß bei allen Relativverschiebungen zwischen der Spindelachse 26 und der Frässpindelachse 46 die beiden Spindelachsen in der Verfahrensebene parallel zueinander ausgerichtet liegen.

Um eine präzise Positionierung des Spannfutters 14 in der Verfahrensebene zu erreichen, sitzt dieses unmittelbar auf einer Spindelwelle 52 der Werkstückspindel 12, welche dem Spannfutter 14 benachbart in einem auf dem Z-Schlitten 22 angeordneten Hochpräzisionslager 54 geführt ist. Die Spindelwelle erstreckt sich auf der dem Spannfutter 14 gegenüberliegenden Seite in Richtung eines Spindelmotors 56 und ist über eine Kupplung 55 mit dessen Spindelmotorwelle 58 verbunden, wobei der Spindelmotor 56 seinerseits ebenfalls fest auf dem Z-Schlitten 22 montiert ist (Fig. 2).

Auf der dem Spannfutter 14 gegenüberliegenden Seite des Hochpräzisionslagers 54 und möglichst nahe zu diesem ist ein hochauflösender Drehgeber vorgesehen, umfassend eine auf der Spindelwelle 52 sitzende Geberscheibe 57 und einen auf dem Z-Schlitten 22 montierten Geberkopf 59, so daß in die von dem Drehgeber gemessene C-Achsenlage die Torsion der Spindelmotorwelle 58 nicht eingeht.

Ferner sind die Spindelmotorwelle 58 und die Spindelwelle 52 als Hohlwellen ausgebildet, um das Spannfutter 14 mit Hydraulikmedium - beispielsweise zum Betätigen desselben zu versorgen. Zu Steuerungszwecken - beispielsweise zur Auflagenkontrolle des Werkstücks 16 ist ferner noch eine Steuerleitung, insbesondere eine Pneumatikleitung, durch die Hohlwellen geführt. Eine Verbindung dieser Leitungen zum nichtdrehenden System erfolgt über eine Drehzuführung 61 an dem der Spindelwelle 52 gegenüberliegenden Ende der Spindelmotorwelle 58.

Schließlich ist vorteilhafterweise noch eine Druckluftleitung durch die Hohlwellen geführt, wobei die Druckluft beim Wechseln des Werkstücks zum Reinigen des Spannfutters einblasbar ist.

Dadurch ist insgesamt eine präzise Positionierung der Spindelachse 26 und somit des Spannfutters 14 erreicht, so daß das Werkstück 16 um die räumlich festliegende Spindelachse 26 rotiert.

Zur präzisen Positionierung der Frässpindelachse 46 ist, wie in Fig. 2 und 3 dargestellt, die Frässpindel 18 in der Spindelaufnahme 34 gehalten, die ihrerseits auf dem X-Schlitten 36 sitzt. Die Spindelaufnahme ist hierbei als Mittenaufhängung für die Frässpindel 18 ausgebildet und umfaßt zwei vorzugsweise in der Verfahrensebene 50 liegende Halteflansche 60 der Frässpindel, welche ihrerseits auf einem Tragelement 62 sitzen, welches sich über den X-Schlitten 36 erhebt. Das Tragelement 62 umfaßt zwei Tragschenkel 64 und 66, welche sich, ausgehend von einer auf dem X-Schlitten 36 ruhenden Tragplatte 68, in Richtung der Halteflansche 60 erstrecken und die beiden Seitenschenkel eines U bilden, während die Tragplatte 68 den Mittelschenkel des U bildet und zwei seitlich derselben liegende Tragflansche 70 und 72 umfaßt, mit welchen die Tragplatte 68 auf dem X-Schlitten 36 mittels Ankern 74 und 76 fixiert ist.

Zur definierten Positionierung der Frässpindelachse 46 über den X-Schlitten sind die Tragschenkel 64 und 66 von Temperierkanälen 78 und 80 durchsetzt, welche von



einem Temperiermedium durchströmbar sind, um die Tragschenkel 64 und 66 auf konstanter Temperatur zu halten und somit eine temperaturabhängige Veränderung der Abmessungen derselben zu verhindern. Vorzugsweise werden sich die Temperierkanäle 78 und 80 mäanderförmig durch die beiden im wesentlichen senkrecht zur Verfahrenebene 50 verlaufenden Tragschenkel 64 und 66 und werden durch eine Zuleitung 82 mit dem Temperiermedium versorgt, welches aus den Temperierkanälen 78 und 80 über eine Rückleitung wieder abfließt. Die Zuleitung 82 und die Rückleitung 84 sind mit einer als Ganzes mit 86 bezeichneten Temperieranlage verbunden, welche zusammen mit den Zuleitungen 82 und 84 sowie den Temperierkanälen 78 und 80 eine Temperiereinrichtung für die Spindelaufnahme 34 bildet.

Die Temperieranlage 86 umfaßt dabei ein Bad 88 mit dem Temperiermedium, im einfachsten Fall Öl, welches durch ein Heiz-/Kühlelement 90 auf einer konstanten Temperatur gehalten wird. Von diesem Bad 88 führt eine Saugleitung 92 zu einer Pumpe 94, welche das im Bad 88 auf einer konstanten Temperatur gehaltene Temperiermedium in die Zuleitung 82 fördert. Die Rückleitung 84 führt ihrerseits direkt in das Bad 88, so daß das zurückströmende Temperiermedium in dem Bad 88 wiederum die für das Bad 88 vorgewählte Temperatur erreicht.

Die Steuerung des Heiz-/Kühlelements 90 auf eine vorbestimmte Temperatur wird nachfolgend noch im Detail beschrieben.

Ferner ist, wie in Fig. 4 dargestellt, die Frässpindel 18 ebenfalls temperiert. Hierzu zweigt von der zu den Temperierkanälen 78 und 80 führenden Zuleitung 82 eine Spindelzuleitung 96 ab, welche mit einem Ast 96a zu einem Temperierkörper 98 einer Statorwicklung 100 eines als Ganzes mit 102 bezeichneten Frässpindelmotors führt und im Anschluß an den Temperierkörper 98 zu einem Temperiermantel 104 in einem vorderen Lageraußenring 106 eines vorderen Spindellagers 108. Von dem Temperiermantel ausgehend, führt dann wieder eine Spindelrückleitung 110 zur Rückleitung 84.

Darüber hinaus zweigt von der Spindelzuleitung 96 ein zweiter Ast 96b ab, welcher sowohl zu einem hinteren Spindellager 112 der Frässpindel als auch zu dem vorderen Spindellager 108 führt und den beweglichen Teilen der Spindellager 108 und 112 Schmiermedium zuführt, welches wiederum über einen Rücklauf 114 in die Spindelrückleitung 110 fließt. Erfindungsgemäß ist daher das Temperiermedium für die Spindelaufnahme 34 und die Frässpindel 18 selbst ein Schmieröl für die Spindellager 108 und 112, so daß über die Temperieranlage 86 neben einer Schmierung der Spindellager 108 und 112 gleichzeitig eine Temperierung der Spindellager 108 und 112, der Statorwicklung 100, des Lageraußenrings 106 und der Spindelaufnahme 34 möglich ist, die dadurch alle auf derselben konstanten Temperatur gehalten werden.

Ferner ist zur Verbesserung der Temperaturstabilität die Frässpindel 18 mit einer durchgehenden Frässpindelwelle 116 versehen, welche einerseits eine Aufnahme 118 für den Fräser 20 aufweist und andererseits einen Rotor 120 des Frässpindelmotors 102 trägt und dabei in den Spindellagern 108 und 112 gelagert ist.

Um die Frässpindelachse 46 und die Spindelachse 26 in der gemeinsamen Verfahrenebene 50 zu halten, ist das Heiz-/Kühlelement 90 mit einer als Ganzes mit 122 bezeichneten Maschinensteuerung verbunden, über welche eine Temperatur des Bades 88 des Temperierme-

diums einstellbar ist.

Die Einstellung der Temperatur des Bades 88 erfolgt nach einer Messung der Lage der Frässpindelachse 46 über die Lage des Fräasers 20 relativ zur durch die Spindelachse 26 festgelegten Verfahrenebene 50 nach einem Warmlaufen der erfindungsgemäßen Fräsmaschine, insbesondere einem Warmlaufen der Frässpindel 46. Stellen sich bei dieser Messung Abweichungen von der Verfahrenebene 50 heraus, so wird entweder die Temperatur des Bades 88 erhöht oder gesenkt, was zu einer Veränderung der Wärmeausdehnung, insbesondere der Tragschenkel 64 und 66, führt und somit zu einer Verschiebung der Frässpindelachse 46 in einer Richtung senkrecht zur Verfahrenebene 50 so lange bis die Frässpindelachse 46 in der Verfahrenebene 50 liegt, was mit ständigen Messungen der Lage der Frässpindelachse relativ zur Verfahrenebene 50 und zur Spindelachse 26 überprüft wird.

Ferner erfolgt die Steuerung der Positionen des Fräasers 20 relativ zum Werkstück 16 ebenfalls über die Maschinensteuerung 122 in bekannter Weise durch Ansteuerung des Z-Achsen-Antriebs 28 des X-Achsen-Antriebs 40 und der Werkstückspindel 12 oder C-Achse entsprechend der auf dem Werkstück 16 herzustellen den Kontur.

Um eine genaue Positionierung des Fräasers 20 in der Frässpindelwelle 116 zu erreichen, ist der Fräser 20, wie in Fig. 5 dargestellt, vorzugsweise mit einem Zylinderschaft 130 versehen, welcher in die Aufnahme 118 einsetzbar ist. Die Aufnahme 118 spannt dabei den Zylinderschaft in zwei in Richtung der Frässpindelachse 46 beabstandeten Spannbereichen 132 und 134, wobei der Spannbereich 132 als vorderer Spannbereich nahe eines vorderen, dem Fräser 20 zugewandten Endes des Zylinderschafts 130 liegt und der hintere Spannbereich 134 nahe eines hinteren Endes des Zylinderschafts 130.

Hierzu sind in der Frässpindelwelle 116 vordere Klemmbacken 136 und hintere Klemmbacken 138 vorgesehen, welche über einen die Frässpindelwelle durchsetzenden Spannanker 140 betätigbar sind, welcher zu einem Spannelement 142 führt, das dem Fräser gegenüberliegend in der Frässpindelwelle 116 angeordnet ist und über die Maschinensteuerung 122 ansteuerbar ist, so daß der Spannanker 140 in Richtung der Frässpindelachse 46 verschiebbar ist, um mit den vorderen Klemmbacken 136 und den hinteren Klemmbacken 138 den Zylinderschaft 130 im vorderen Spannbereich 132 und im hinteren Spannbereich 134 zylindrisch festzuspannen. Eine weitere Verbesserung der Präzision der Lage des Fräasers 20 relativ zur Frässpindelachse 46 ist noch durch eine auf dem vorderen Ende des Zylinderschafts 130 sitzende Planscheibe 144 erreichbar, welche eine der Frässpindelwelle 116 zugewandte Plananlagefläche 146 aufweist, die ihrerseits gegen eine Planfläche 148 an einer Stirnseite 150 der Frässpindelwelle 116 anlegbar ist. Damit ist der Fräser 20 einerseits durch den in den beiden Spannbereichen 132 und 134 gespannten Zylinderschaft 130 und durch die an der Planfläche 148 anliegende Plananlagefläche 146 exakt coaxial zur Frässpindelachse 46 positioniert.

Vorzugsweise sind dabei der vordere Klemmbacken 136 und der hintere Klemmbacken 138 gemeinsam über den Spannanker 140 betätigbar und miteinander durch ein elastisches Element 150 verbunden, welches so ausgebildet ist, daß beim Anziehen des Spannankers 140 zunächst die vorderen Klemmbacken 136 den Zylinderschaft 130 im vorderen Spannbereich 132 spannen und gleichzeitig die Plananlagefläche 146 gegen die Planflä-

che 148 ziehen und nachfolgend die hinteren Klemmböcken 138 den Zylinderschaft 130 im hinteren Spannungsbereich 134 zylindrisch spannen (siehe DE-PS 40 31 986).

Bei einem besonders bevorzugten Einsatz, dient, wie in Fig. 6 dargestellt, die erfindungsgemäße Fräsmaschine zum Fräsen von Spiralkompressorgehäusen 160 als Werkstücke 16, deren Dichtflächen 162 Kreisevolventen zu einem Grundkreis um die Spindelachse 26 darstellen. Der Fräser 20 wird dabei auf der Kreisevolventenfläche 162 geführt. Um dabei eine möglichst hohe Oberflächengüte bei den Dichtflächen 162 zu erreichen, ist der Fräser 20 ein Hochgeschwindigkeitsfräser, welcher mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit, beginnend am radial außenliegenden Ende 164 die Dichtflächen 162 in einem Zug bis zum radial innenliegenden Ende 166 fräst, was zur Folge hat, daß der Antrieb des Werkstücks 16 durch die Werkstückspindel 12 mit kleiner werdendem Radius beschleunigt erfolgen muß, um die konstante Vorschubgeschwindigkeit zu halten.

Bei einem zweiten Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Oberflächenbearbeitungsmaschine, dargestellt in Fig. 7 ist die Anordnung des Z-Schlittens 22 und des X-Schlittens 36 auf dem Maschinengestell identisch wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel, dargestellt in Fig. 1 und 2, so daß diesbezüglich auf die Ausführungen zu diesem Ausführungsbeispiel vollinhaltlich Bezug genommen wird.

Im Gegensatz zum ersten Ausführungsbeispiel ist bei dem zweiten Ausführungsbeispiel die Werkstückspindel 12, die im übrigen identisch ausgebildet ist wie beim ersten Ausführungsbeispiel, auf dem X-Schlitten 36 angeordnet und daher in X-Richtung bewegbar, während auf dem Z-Schlitten 22 drei nebeneinander sitzende Frässpindeln 18a, 18b und 18c angeordnet sind.

Jede dieser Frässpindeln 18a, 18b und 18c sitzt ihrerseits in einer Spindelaufnahme 34a, 34b und 34c, die jeweils in gleicher Weise wie die Spindelaufnahmen 34 beim ersten Ausführungsbeispiel temperierbar sind.

Auch im übrigen sind vorteilhafterweise die Frässpindeln 18a, 18b und 18c in gleicher Weise ausgebildet wie beim ersten Ausführungsbeispiel.

Erfindungsgemäß werden alle drei Frässpindeln 18a, 18b und 18c gleichzeitig betrieben, so daß ständig alle drei Frässpindeln 18a, 18b und 18c auf Betriebstemperatur sind. Je nach dem, welche der Frässpindeln 18a, 18b und 18c zum Bearbeiten des Werkstücks 16 benutzt werden soll, wird die Werkstückspindel 12 durch den X-Schlitten 36 in X-Richtung verfahren, und zum Bearbeiten der Oberfläche des Werkstücks 16 in X-Richtung verschoben.

Dagegen werden sie in der Regel zu Beginn des Bearbeitungsvorganges einmal in Z-Richtung positioniert und bleiben in dieser Z-Position stehen, während das Werkstück 16 in X-Richtung verschoben wird. Der Vorteil dieser Lösung ist darin zu sehen, daß die die Schwingungsprobleme erzeugenden Frässpindeln 18a, 18b und 18c während der Bearbeitung des Werkstücks 16 nicht verschoben werden.

Im übrigen erfolgt die Steuerung der Frässpindeln 18a, 18b und 18c sowie der Werkstückspindel 12 in gleicher Weise durch die Maschinensteuerung 122 und die Kühlung der Frässpindeln 18a, 18b und 18c sowie der Spindelaufnahmen 34a, 34b und 34c durch die gleichen Einrichtungen wie beim ersten Ausführungsbeispiel, vorzugsweise jedoch für jede der Frässpindeln 18a, 18b und 18c gesondert, so daß auf die Ausführungen hierzu vollinhaltlich Bezug genommen wird.

Zur Durchführung einer hochpräzisen Oberflächenbearbeitung ist auf dem die Werkzeugspindel 12 tragenden Schlitten, wie in Fig. 8 dargestellt, beispielsweise bei einer Oberflächenbearbeitungsmaschine gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel, auf dem Schlitten 22 eine Meßeinrichtung 170 angeordnet, welche einen Meßkopf 172 aufweist, der bezüglich seiner Anordnung in Richtung der Z-Achse ungefähr in Höhe des Werkstücks 16 positioniert ist. Darüber hinaus ist der Meßkopf 172 in einer senkrecht zur X-Achse und zur Z-Achse verlaufenden Y-Richtung ebenfalls in Höhe des Werkstücks 16 positioniert, so daß der Fräser 20 durch Verfahren der Frässpindel 18 relativ zur Werkzeugspindel 12 in X-Richtung in dem Meßkopf 172 in einer Meßposition positionierbar ist.

Wie in Fig. 9 dargestellt, umfaßt der Meßkopf 172 ein Oberteil 174 und ein Unterteil 176, zwischen denen ein Freiraum 178 liegt, in welchem der Fräser 20 in seiner Meßposition steht. Der Fräser 20 umfaßt üblicherweise einen Werkzeugkörper 180, welcher bezüglich einer Werkzeugachse 182, um welche der Werkzeugkörper 180 rotiert, radial außenliegende Schneiden 184 trägt. Jede der Schneiden 184 bewegt sich bei rotierendem Fräser 20 auf einer Flugbahn 186 um die Werkzeugachse 182, wobei im Idealfall alle Flugbahnen 186 aller Schneiden 184 identisch sind. In der Regel hat jedoch bei genügend genauer Messung jede der Schneiden 184 ihre eigene Flugbahn 186.

Zur Messung der Flugbahnen 186 der Schneiden 184 werden in der Meßeinrichtung 170 zwei den Freiraum 178 vom Oberteil 174 zum Unterteil 176 durchsetzende Meßstrahlen 188 und 190 erzeugt, die mit ihren Ausbreitungsrichtungen 192 und 194 im Abstand voneinander den Freiraum 178 durchsetzen und ferner jeweils auf einen Sensor 196 und 198 treffen, von denen jeder so ausgebildet ist, daß er eine Bestimmung der von dem jeweiligen Meßstrahl 188 bzw. 190 bestrahlten aktiven Fläche 200 bzw. 202 mittels einer Auswerteschaltung 204 erlaubt.

Die Erzeugung der Meßstrahlen 188 und 190 erfolgt vorzugsweise durch einen gemeinsamen Laser 206, dessen Laserstrahl auf zwei Lichtwellenleiter 208 und 210 aufgeteilt ist, die beide zu dem Oberteil 174 geführt sind und in diesem enden. Ein aus den Lichtleitern austretender Laserstrahl 212 bzw. 214 trifft dann jeweils auf eine Aufweiteoptik 216 bzw. 218, von welcher ein im Querschnitt aufgeweiteter Strahl 220 und 222 auf einen jeweils als Ganzes mit 224 bzw. 226 bezeichneten Strahlteiler trifft, von welchem ausgehend der Meßstrahl 188 bzw. 190 sich in seiner Ausbreitungsrichtung 192 bzw. 194 ausbreitet.

Vorzugsweise ist jeder Strahlteiler 224 bzw. 226 mit einem teildurchlässigen Spiegel 228 bzw. 230 versehen, so daß ein Teil des eintretenden Strahls 220 bzw. 222 durch diesen teildurchlässigen Spiegel 228 bzw. 230 hindurchtritt und auf einen Referenzsensor 232 bzw. 234 trifft, anstatt von dem teildurchlässigen Spiegel 228 bzw. 230 in dem Meßstrahl 188 bzw. 190 reflektiert zu werden.

Darüber hinaus ist jedem Strahlteiler ein Rückreflexionssensor 236 bzw. 238 zugeordnet, mit welchem bestimmbar ist, welcher Teil des Meßstrahls 188 bzw. 190 nicht die Sensoren 196 bzw. 198 erreicht, sondern von dem Fräser 20 entgegengesetzt zur Ausbreitungsrichtung 192 bzw. 194 zurückreflektiert wird und durch den teildurchlässigen Spiegel 228 bzw. 230 hindurchtritt.

Sowohl die Referenzsensoren 232 und 234 als auch die Rückreflexionssensoren 236 und 238 sind mit der

Auswerteschaltung 204 verbunden.

Der Abstand der beiden Meßstrahlen 188 und 190 ist erfindungsgemäß so gewählt, daß bei in Meßposition stehendem Fräser 20 die sich auf ihren Flugbahnen 186 bewegenden Schneiden 184 jeweils sowohl den Meßstrahl 188 als auch den Meßstrahl 190 jeweils teilweise abdecken. Die Größe der Abdeckung der Meßstrahlen 188 und 190 wird dabei einerseits von den Sensoren 196 und 198 detektiert und andererseits ist aber auch eine Detektion der zurückreflektierten Strahlen durch die Rückreflexionssensoren 236 und 238 möglich.

Ausgehend davon, daß die Auswerteschaltung 204 als Grundinformation den Abstand der Sensoren 196 und 198 kennt und außerdem die Größe der bestrahlbaren Flächen 200 und 202, ist durch die teilweise Abdeckung des Querschnitts der Meßstrahlen 188 und 190 durch die Schneiden 184 eine Messung von deren Abstand in einer zur X-Achse parallelen Ebene 205 durch die Werkzeugachse 182 möglich.

Darüber hinaus ist, wie in Fig. 10 dargestellt, der Meßeinrichtung 170 noch zusätzlich ein Drehstellungssensor 240 zugeordnet, welcher zur optischen Erfassung der Drehstellungen des Fräasers 20 dient. Der Drehstellungssensor 240 ist bei dem in Fig. 10 dargestellten Ausführungsbeispiel an der jeweiligen Frässpindel gehalten, und zwar so, daß eine aktive Seite 242 in der Lage ist, Winkelmarkierungen 244 und eine Nullmarkierung 246 auf einer zylindrischen Außenumfangsfläche 248 der Planscheibe 144 zu erkennen. Vorzugsweise ist der Drehstellungssensor 240 dabei an dem Meßkopf 172.

Ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel des Drehstellungssensors 240 ist als optischer Sensor ausgebildet, welcher zwei ein optisches Sende- und Empfangsteil umfassende Sensorköpfe 250 und 252 aufweist, wobei der Sensorkopf 250 so angeordnet ist, daß er die Winkelmarkierung 244 detektiert, welche in diesem Fall aus reflektierenden und nicht reflektierenden Bereichen, vorzugsweise nicht reflektierenden Strichen, besteht, die längs einer Kreislinie um die Werkzeugachse 182 umlaufen. Ferner ist der Sensorkopf 252 so angeordnet, daß er die Nullmarkierung 246 detektiert, die ebenfalls auf einer Kreislinie neben der Kreislinie der Winkelmarkierung 244 liegt, um die Werkzeugachse 182 herum angeordnet ist und auf dieser umläuft.

Der Drehstellungssensor 240 kann somit einerseits über die Nullmarkierung 246 eine Nullstellung des Fräasers 20 relativ zum Drehstellungssensor 240 erkennen und bezüglich dieser Nullstellung mittels der Winkelmarkierung 244 die einzelnen Winkelstellungen.

Der Drehstellungssensor 240 ist ferner mit der Auswerteschaltung 204 verbunden, wobei vorzugsweise durch die Auswerteschaltung 204, beispielsweise über die Maschinensteuerung 122, die Relativlage der einzelnen Schneiden 184 bezüglich der Nullmarkierung vorgebar ist.

Die erfindungsgemäße Meßeinrichtung 170 arbeitet nun folgendermaßen.

Zunächst ist mit dieser Meßeinrichtung 170 die Lage einer dynamischen Werkzeugachse 260 bestimmbar, welche nicht generell mit der Werkzeugachse 182 identisch sein muß und beispielsweise dadurch bedingt sein kann, daß die Flugbahnen 186 der Schneiden 184 exzentrisch zur Werkzeugachse 182 mit ihrer Drehachse liegen. Diese Bestimmung der dynamischen Werkzeugachse erfolgt durch Bestimmung der äußersten Flugbahn 186 der am weitesten außen liegenden Schneide 184, wobei bei mit voller Drehzahl rotierendem Fräser 20 die maximale Abdeckung der Meßstrahlen 188 und

190 durch die Schneiden 184 und somit deren Lage in X-Richtung beim Durchtritt durch die Ebene 205 erfaßt wird. Dadurch wird zwangsläufig der Durchmesser der Flugbahn 186 der am weitesten radial außenliegenden Schneide 184 ermittelt. Die Lage der dynamischen Werkzeugachse 260 wird von der Auswerteschaltung 204 so festgelegt, daß diese mittig des Durchmessers der Flugbahn 186 der radial am weitesten außen liegenden Schneide in der Ebene 205 liegt.

Vorausgesetzt, die Meßstrahlen 188 und 190 verlaufen senkrecht zur X-Achse, so läßt sich mit der Auswerteschaltung 204 auch gleichzeitig die X-Position der Lage der dynamischen Werkzeugachse 260 in der Ebene 205 bestimmen.

Ist andererseits auch die X-Position der Werkzeugachse 182 in der Meßposition des Fräasers 20 bekannt, so ist mit der erfindungsgemäßen Meßeinrichtung 170 eine Bestimmung der Abweichung der X-Position der dynamischen Werkzeugachse 260 von der Werkzeugachse 182 möglich, wobei zur Vereinfachung davon ausgegangen wird, daß die Werkzeugachse 182 coaxial zur Werkzeugspindelachse oder Frässpindelachse 46 liegt.

Darüber hinaus ist in der erfindungsgemäßen Meßeinrichtung eine Bestimmung der Flugbahn 186 jeder einzelnen Schneide 184 dadurch möglich, daß die Auswerteschaltung 204 über den Drehstellungssensor 240 die Lage jeder einzelnen Schneide 184 beim Durchtritt derselben durch die Ebene 205 ermittelt und somit ein Ablesen der Sensoren 196 und 198 stets dann erfolgt, wenn die jeweilige Schneide 184 den jeweiligen Meßstrahl 188 bzw. 190 maximal abdeckt.

Somit wird mit der erfindungsgemäßen Meßeinrichtung 170 zusätzlich zur Bestimmung der dynamischen Werkzeugachse 260 auch die Abweichung der Schneiden 184 von der Flugbahn 186 der am weitesten radial außenliegenden Schneide ermittelt und somit der Rundlauf des Fräasers 20 bestimmt.

Mit den Daten über die X-Position der dynamischen Werkzeugachse 260 und dem Rundlauf des Fräasers 20 ist eine genauere Steuerung der Oberflächenbearbeitung durch die Maschinensteuerung 122 möglich.

Darüber hinaus besteht mit dem erfindungsgemäßen Meßkopf 172 auch die Möglichkeit, die Lage einer Stirnschneide 254, insbesondere deren Z-Koordinate zu bestimmen, wofür mittels der Maschinensteuerung 122 eine Relativbewegung zwischen dem Meßkopf 172 und dem Fräser 20 durchgeführt wird und dabei ebenfalls die teilweise Abdeckung des Querschnitts der Meßstrahlen 188 und 190 in Abhängigkeit von der Bewegung in Z-Richtung gemessen wird.

Vorzugsweise ist dabei beispielsweise der Beginn einer teilweisen Abdeckung des Querschnitts der Meßstrahlen 188 und 190 bei einem Vorschub des Fräasers 20 in Z-Richtung auf dem Meßkopf 172 zu mit einer definierten Z-Koordinate verknüpft.

Bei einer Alternative des erfindungsgemäßen Meßkopfes 172, dargestellt in Fig. 11, werden nicht zwei Meßstrahlen 188 und 190 verwendet, welche sich senkrecht zur X-Achse erstrecken, sondern zwei in Richtung der X-Achse beabstandete und in der Ebene 205 angeordnete Abstandssensoren 270 bzw. 272, welche mit ihren aktiven Flächen 274 bzw. 276 den Schneiden 184 des Fräasers 20 zugewandt sind, jedoch von der Flugbahn 186 der am weitesten radial außenliegenden Schneide 184 einen Abstand aufweisen.

Die Abstandssensoren 270 und 272 sind entweder als induktive oder als kapazitive Abstandssensoren ausgebildet und in der Lage, einen Abstand zwischen ihrer

aktiven Fläche 274 bzw. 276 und einer dieser aktiven Fläche 274 bzw. 276 gegenüberliegenden Schneide 184 zu ermitteln.

Damit lassen sich mit den Abstandssensoren 270 und 272 sowohl eine Bestimmung der dynamischen Werkzeugachse 260 als auch des Rundlaufs des Fräasers in gleicher Weise wie mit den Meßstrahlen 188 und 190 durchführen.

Erfindungsgemäß werden die vorstehend beschriebenen Bestimmungen der dynamischen Werkzeugachse 260 und des Rundlaufs eines jeden Fräasers 20 bei laufenden Frässpindeln 18 durchgeführt und vorzugsweise wird eine derartige Überprüfung nach einer festgelegten Zahl von Bearbeitungsvorgängen, das heißt einer festgelegten Zahl von bearbeiteten Werkstücken, erneut durchgeführt, um bei Bearbeitung einer Serie von Werkstücken stets zu überprüfen, ob der Fräser 20 den Anforderungen für weitere genaue Oberflächenbearbeitungen entspricht oder ein Austausch des Fräasers 20 erfolgen muß. Damit ist insbesondere bei der Bearbeitung einer Serie von Werkstücken zum einen die Genauigkeit der Oberflächenbearbeitung genau dokumentierbar und zum anderen wird die Qualität der Oberflächenbearbeitung stets sichergestellt.

Bei der vorstehend beschriebenen Meßeinrichtung ist die Möglichkeit geschaffen, die dynamische Werkzeugachse 260 in dem Rundlauf des Fräasers in einfacher Weise zu ermitteln. Es besteht jedoch keine Möglichkeit, die Position zu ermitteln, in welcher die Frässpindelachse 46 koaxial zur Spindelachse 26 steht und wie genau die koaxiale Ausrichtung der beiden gehalten ist.

Hierzu ist in die Aufnahme 118 für das Fräserwerkzeug 20 der Frässpindel 18 ein als Referenzwerkzeug dienender Meßdorn 280 einsetzbar, welcher eine zylindrische Oberfläche 282 aufweist, die mit hoher Präzision zylindrisch zu einer Dornachse 284 ist, welche ihrerseits über die Aufnahme 118 koaxial zur Frässpindelachse 46 gehalten ist (siehe Fig. 12).

Darüber hinaus ist in das Spannfutter 14 anstelle des Werkstücks 16 eine Kalibriereinrichtung 286 einsetzbar, deren Symmetrieachse 288 koaxial zur Spindelachse 26 ausgerichtet ist. Die Kalibriereinrichtung 286 weist dabei einen Befestigungsabschnitt 290 auf, mit welchem diese in dem Spannfutter 14 genau wie das Werkstück 16 spannbar ist. Ferner umfaßt die Kalibriereinrichtung 286 zwei Arme 292 und 294, welche sich parallel zur Symmetrieachse 288 erstrecken und an ihren vorderen dem Befestigungsabschnitt 290 gegenüberliegenden Enden jeweils zwei Abstandssensoren 296 und 298 tragen, die mit ihren aktiven Seiten 300 und 302 sowohl einander als auch der Symmetrieachse 288 zugewandt sind. Die aktiven Seiten 300 und 302 sind dabei in Richtung einer zur Symmetrieachse 288 senkrecht verlaufenden Abstandsrichtung 304 in gleichem Abstand von der Symmetrieachse 288 angeordnet und somit zu dieser symmetrisch.

Mit den beiden Abstandssensoren 296 und 298 ist somit ein Abstand zwischen diesen und der zylindrischen Oberfläche 282 des Meßdorns 280 in der Abstandsrichtung 304 feststellbar und somit jeweils überprüfbar, ob die Frässpindelachse 46 und die Spindelachse 26 koaxial zueinander stehen.

Hierzu wird zunächst die Abstandsrichtung 304 durch Drehen der Werkstückspindel 12 so ausgerichtet, daß diese parallel zur X-Achse steht und mit der Steuerung 122 werden die Werkstückspindel 12 sowie die Frässpindel 18 so verschoben, daß deren Spindelachse 26 und die Frässpindelachse 46 entsprechend den eingege-

benen Steuerungsdaten koaxial zueinander stehen müssen.

Anschließend werden die Werkstückspindel 14 und die Frässpindel 18 in Z-Richtung so weit zueinander verschoben, daß die Abstandssensoren 296 und 298 einen vorderen Bereich 306 der zylindrischen Oberfläche 282 des Meßdorns 280 erfassen.

Liegen nun die Spindelachse 26 und die Frässpindelachse 46, bezogen auf die X-Richtung koaxial zueinander, so wird mit beiden Abstandssensoren 296 und 298 derselbe Abstand der zylindrischen Oberfläche 282 von diesen gemessen. Hierzu sind die beiden Abstandssensoren 296 und 298 mit einer Kalibriersteuerung 308 verbunden, welche ihrerseits wiederum mit der Maschinensteuerung 122 zur Durchführung des Vorgangs in Verbindung steht.

Wird mittels der Abstandssensoren 296 und 298 ein unterschiedlicher Abstand gemessen, so wird, initiiert durch die Kalibriersteuerung 308, von der Maschinensteuerung 122 eine Relativverschiebung der Werkstückspindel 14 relativ zur Frässpindel 18 durchgeführt, so lange bis die Spindelachse 26 und die Frässpindelachse 46 bezüglich der X-Richtung koaxial zueinander liegen.

Ausgehend von dieser ersten Kalibrierung der koaxialen Position der Spindelachse 26 und der Frässpindelachse 46 bezüglich der X-Richtung läßt sich auch noch die parallele Ausrichtung der Spindelachse 26 relativ zur Frässpindelachse 46, bezogen auf die X-Richtung, überprüfen. Hierzu werden die Werkstückspindel 14 und die Frässpindel 18 in Z-Richtung weiter aufeinander verschoben, so daß die Abstandssensoren 296 und 298, wie in Fig. 12 strichpunktiert dargestellt, einen hinteren Bereich 310 der zylindrischen Oberfläche 282 des Meßdorns 280 erfassen. Sind bei anfänglicher koaxialer Ausrichtung der Spindelachse 26 zur Frässpindelachse 46, gemessen im vorderen Bereich 306, im hinteren Bereich die Abstände von den Abstandssensoren 296 und 298 identisch, so sind die Spindelachse 26 und die Frässpindelachse 46 parallel zueinander ausgerichtet. Ergeben sich Unterschiede, so läßt sich der Winkel zwischen den beiden ermitteln, indem entweder bereits unmittelbar durch die Abstandssensoren 296 und 298 der unterschiedliche Abstand erfaßt wird oder eine erneute koaxiale Ausrichtung der Spindelachse 26 zur Frässpindelachse 46 durchgeführt wird und sich daraus dann die Differenz in X-Richtung ergibt.

In dieser Weise läßt sich nun mittels der als C-Achse ausgebildeten Werkstückspindel 14 die Kalibriereinrichtung 286 so weit drehen, daß die Abstandsrichtung 304 sowohl senkrecht zur X-Achse als auch senkrecht zur Z-Achse und somit parallel zur Y-Achse steht. In dieser Stellung lassen sich die gleichen Meßvorgänge durchführen, so daß ebenfalls überprüfbar ist, ob die Spindelachse 26 und die Frässpindelachse 46, bezogen auf die Y-Richtung, koaxial zueinander ausgerichtet sind und ob in dieser Richtung ebenfalls mangelnde Parallelität zwischen diesen beiden existiert.

Die Abstandssensoren 296 und 298 können in unterschiedlicher Weise ausgebildet sein. Im einfachsten Fall handelt es sich bei diesen um Luftsensoren, das heißt um Sensoren, die auf ihrer aktiven Seite 300 bzw. 302 Meßdüsen aufweisen, aus denen Luft ausströmt, wobei aus dem Druck in den Meßdüsen der Abstand der zylindrischen Oberfläche 282 von den jeweiligen Meßdüsen ermittelbar ist.

Alternativ dazu können die Abstandssensoren 296 und 298 aber auch als induktive oder kapazitive Sensoren ausgebildet sein, mit welchen ein Abstand zwischen

den aktiven Seiten 300 bzw. 302 und der zylindrischen Oberfläche 282 ermittelbar ist.

Besonders vorteilhaft bei der erfindungsgemäßen Lösung ist, daß die koaxiale Ausrichtung der Spindelachse 26 und der Frässpindelachse 46 nicht nur bei Stillstand der Frässpindel 18 nachprüfbar ist, sondern auch bei laufender, das heißt temperierter Frässpindel 18 und temperierten Spindelaufnahmen 34, wobei eine mangelnde koaxiale Ausrichtung, bezogen auf die Y-Richtung, durch Änderung der Temperierung der Spindelaufnahmen korrigierbar ist, während eine mangelnde koaxiale Ausrichtung, bezogen auf die X-Richtung, über die Maschinensteuerung 22 durch Änderung des Nullpunktes für den X-Schlitten 36 korrigierbar ist.

#### Patentansprüche

1. Oberflächenbearbeitungsmaschine, umfassend ein Maschinengestell, eine Werkzeugspindel mit einer Werkzeugspindelachse und eine Werkstückspindel mit einer parallel zur Werkzeugspindelachse ausgerichteten Spindelachse, wobei die Werkzeugspindel und die Werkstückspindel relativ zueinander in Richtung einer senkrecht zur Spindelachse verlaufenden X-Achse und einer parallel zur Spindelachse verlaufenden Z-Achse bewegbar sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkzeugspindel (18) eine Hochgeschwindigkeitsspindel ist und daß die Hochgeschwindigkeitsspindel (18) von einer temperierten Spindelaufnahme (34) gehalten ist.
2. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Spindelaufnahme (34) so ausgebildet ist, daß sich bei Temperierung derselben die Lage der Werkzeugspindelachse (46) in Richtung senkrecht zur X- und Z-Achse exakt positionieren läßt.
3. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Spindelaufnahme (34) so ausgebildet ist, daß bei Temperierung derselben die Werkzeugspindelachse (46) in einer zur X- und Z-Achse parallelen und durch die Spindelachse (26) hindurchgehenden Verfahrensebene (50) positionierbar ist.
4. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Temperiereinrichtung vorgesehen ist, welche die Spindelaufnahme (34) auf einer vorwählbaren Temperatur hält.
5. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Temperiereinrichtung die Temperatur der Spindelaufnahme (34) zur Justierung der Werkzeugspindelachse (46) einstellbar ist.
6. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Spindelaufnahme (34) Temperierkanäle (78, 80) für ein Medium zur Temperierung aufweist.
7. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperiereinrichtung eine Temperieranlage (86) für das Medium aufweist.
8. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperieranlage ein Bad (88) für das Medium aufweist.
9. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach An-

spruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Bad (88) temperierbar ist.

10. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Spindelaufnahme (34) ein sich quer zur X- und Z-Achse erstreckendes Tragelement (62) aufweist, welches temperierbar ist.

11. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Tragelement (62) eine Mittenaufhängung für die Werkzeugspindel (18) ist.

12. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Tragelement (62) zwei Tragschenkel (64, 66) aufweist, zwischen welchen die Werkzeugspindel (18) aufgenommen ist.

13. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Tragschenkel (64, 66) mit Temperierkanälen (78, 80) durchsetzt sind.

14. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkzeugspindel (18) temperierbar ist.

15. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkzeugspindel (18) eine Werkzeugspindelwelle (116) und einen auf dieser sitzenden Spindelmotor (102) aufweist, welcher temperierbar ist.

16. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Werkzeugspindelmotor (102) temperierbare Statorwicklungen (100) aufweist.

17. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Statorwicklungen (100) Temperierkanäle (98) für ein Medium aufweisen.

18. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkzeugspindelwelle (116) in temperierten Spindellagern (108, 112) der Werkzeugspindel (18) gehalten ist.

19. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß ein Lageraußenring (106) eines der Spindellager (108) temperiert ist.

20. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Spindellager (108, 112) durch diese hindurchströmendes Schmieröl gekühlt sind.

21. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß das Schmieröl für die Spindellager (108, 112) auch die Temperierkanäle (78, 80; 98; 104) als Medium zum Temperieren durchströmt.

22. Oberflächenbearbeitungsmaschine, nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkzeugspindel (18) als Hochfrequenzspindel ausgebildet ist und eine Aufnahme (118) für ein Werkzeug (20) mit einem Zylinderschaft (130) aufweist, und daß insbesondere die Aufnahme (118) so ausgebildet ist, daß der Zylinderschaft (130) an zwei in Richtung der Werkzeugspindelachse (46) beabstandeten Spannbereichen (132, 134) spannbar ist.

23. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkzeugspindel (18) eine stirnseitige Planfläche (148)

zur Abstützung einer Plananlagefläche (146) eines Werkzeugschafts aufweist.

24. Oberflächenbearbeitungsmaschine, umfassend ein Maschinengestell, eine Werkzeugspindel mit einer Werkzeugspindelachse und eine Werkstückspindel mit einer parallel zur Werkzeugspindelachse ausgerichteten Spindelachse, wobei die Werkzeugspindel und die Werkstückspindel relativ zueinander in Richtung einer senkrecht zur Spindelachse verlaufenden X-Achse und einer parallel zur Spindelachse verlaufenden Z-Achse bewegbar sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstückspindel (12) ein Spannfutter (14) für ein Werkstück (16) aufweist, welches direkt mit einer Motorwelle (52) eines Spindelmotors (56) der Werkstückspindel (12) verbunden ist.

25. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß das Spannfutter (14) in einem Hochpräzisionslager (54) geführt ist.

26. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 24 oder 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstückspindel (12) einen spannfutternah angeordneten Drehgeber (57, 59) für die Erfassung der C-Achsenstellungen des Spannfutters (14) aufweist.

27. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehgeber (57, 59) zwischen dem Spannfutter (14) und dem Spindelmotor (56) angeordnet ist.

28. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehgeber (57, 59) auf einer dem Spannfutter (14) gegenüberliegenden Seite des Hochpräzisionslagers (54) angeordnet ist.

29. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 24 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß eine Spindelwelle (52) und eine mit dieser verbundenen Motorwelle (58) der Werkstückspindel (12) als Hohlwellen ausgebildet sind.

30. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß durch die Hohlwellen Leitungen für die Betätigung des Spannfutters (14) geführt sind.

31. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 29 oder 30, dadurch gekennzeichnet, daß durch die Hohlwellen eine Leitung für ein Medium zum Reinigen des Spannfutters geführt ist.

32. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 30 oder 31, dadurch gekennzeichnet, daß auf der dem Spannfutter (14) gegenüberliegenden Seite der Motorwelle (58) eine Drehzuführung (61) für die Leitungen angeordnet ist.

33. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 24 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkzeugspindel (18) in Z-Richtung und die Werkstückspindel (12) in X-Richtung bewegbar sind.

34. Oberflächenbearbeitungsmaschine, umfassend ein Maschinengestell, eine auf dem Maschinengestell angeordnete Werkzeugspindel mit einem um eine Werkzeugspindelachse herum angeordnete Schneiden aufweisenden Werkzeug und eine auf dem Maschinengestell angeordnete Werkstückaufnahme, wobei die Werkzeugspindel und die Werkstückaufnahme relativ zueinander in Richtung einer senkrecht zur Werkzeugspindelachse verlaufenden X-Achse und einer parallel zur Werkzeugspindelachse verlaufenden Z-Achse bewegbar sind,

dadurch gekennzeichnet, daß auf dem Maschinengestell (10) eine Meßeinrichtung (170) angeordnet ist, daß die Werkzeugspindel (18) mit dem Werkzeug (20) relativ zur Meßeinrichtung (170) in eine Meßposition bringbar ist und daß mit der Meßeinrichtung (170) bei rotierendem Werkzeug (20) eine Flugbahn (186) oder Lage der Schneiden (184, 254) bestimmbar ist.

35. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Meßeinrichtung (170) ein effektiver Durchmesser einer Flugbahn (186) der am weitesten außenliegenden Schneide (184) bestimmbar ist.

36. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Meßeinrichtung (170) die Lage einer dynamischen Werkzeugachse (260) des rotierenden Werkzeugs (20) bestimmbar ist.

37. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 34 bis 36, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Meßeinrichtung (170) die Lage einer Stirnschneide (254) bestimmbar ist.

38. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 34 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Meßeinrichtung (170) bei warmgelaufener Werkzeugspindel (18) die Lage der Schneiden (184, 254) bestimmbar ist.

39. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 34 bis 38, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßeinrichtung (170) die Lage der Schneiden (184, 254) in einer durch die Werkzeugachse (182) hindurchgehenden Ebene (205) auf beiden, einander gegenüberliegenden Seiten der Werkzeugachse (182) erfaßt.

40. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 34 bis 39, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßeinrichtung (170) die Flugbahn (186) oder Lage der Schneiden (184, 254) optisch erfaßt.

41. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßeinrichtung (170) die Flugbahn (186) oder Lage jeder Schneide (184, 254) durch Messen einer Abdeckung eines Meßstrahls (188, 190) durch diese Schneide (184, 254) erfaßt.

42. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßeinrichtung (170) die Lage jeder Schneide (184, 254) durch Messen einer Abdeckung des Meßstrahls (188, 190) über einen Teilbereich von dessen Querschnitt erfaßt.

43. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 34 bis 39, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßeinrichtung (170) die Lage der Schneiden (184, 254) kapazitiv erfaßt.

44. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 34 bis 39, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßeinrichtung (170) die Lage der Schneiden (184, 254) induktiv erfaßt.

45. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 34 bis 44, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßeinrichtung (170) Drehstellungen des Werkzeugs (20) durch Markierungen (244, 246) an einem Werkzeugschaft (144) detektiert.

46. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 45, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßeinrichtung (170) einen Drehstellungssensor (240) zum Ablesen der Markierungen (244, 246) umfaßt.

47. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach An-



spruch 45 oder 46, dadurch gekennzeichnet, daß die Markierungen (244, 246) optisch lesbare Markierungen sind.

48. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 45 bis 47, dadurch gekennzeichnet, daß die Markierungen eine Referenzmarkierung (246) und Winkelmarkierungen (244) umfassen.

49. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß die Schneiden (184, 254) am Werkzeug (20) in einem definierten Winkelabstand von der Referenzmarkierung (246) angeordnet sind.

50. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 45 bis 49, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage der Schneiden (184, 254) bezüglich der Referenzmarkierung (246) einer Steuerung (204) der Meßeinrichtung (170) vorgebbar ist.

51. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 50, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Meßeinrichtung (170) jeweils dann eine Messung der Lage der jeweiligen Schneide (184, 154) durchführbar ist, wenn die Steuerung (204) mittels des Drehstellungssensors (240) erkennt, daß die jeweilige Schneide (184, 254) in der Ebene (205) liegt.

52. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 34 bis 51, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßeinrichtung (170) fest mit der Werkstückhalteeinrichtung (12) verbunden ist.

53. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 34 bis 52, dadurch gekennzeichnet, daß diese nach einem der Ansprüche 1 bis 33 ausgebildet ist.

54. Verfahren zur Bearbeitung eines in einer Werkstückaufnahme gehaltenen Werkstücks mit einem von einer Werkzeugspindel rotierend angetriebenen Werkzeug, welches um eine Werkzeugspindelachse herum angeordnete Schneiden aufweist, wobei das Werkstück und das Werkzeug relativ zueinander in Richtung einer senkrecht zur Spindelachse verlaufenden X-Achse und einer parallel zur Spindelachse verlaufenden Z-Achse bewegt werden, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkzeug relativ zu einer Meßeinrichtung in eine Meßposition gebracht wird und daß mit der Meßeinrichtung bei rotierendem Werkzeug eine Flugbahn oder Lage der Schneiden bestimmt wird.

55. Verfahren nach Anspruch 54, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Meßeinrichtung ein effektiver Durchmesser einer Flugbahn der am weitesten radial außenliegenden Schneide bestimmt wird.

56. Verfahren nach Anspruch 55, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Meßeinrichtung die Lage einer dynamischen Werkzeugachse des rotierenden Werkzeugs bestimmt wird.

57. Verfahren nach einem der Ansprüche 54 bis 56, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Meßeinrichtung die Lage einer Stirnschneide bestimmt wird.

58. Verfahren nach einem der Ansprüche 54 bis 57, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Meßeinrichtung bei warmgelaufener Werkzeugspindel die Lage der Schneiden bestimmt wird.

59. Verfahren nach einem der Ansprüche 54 bis 58, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Meßeinrichtung die Lage der Schneiden in einer durch die Werkzeugachse hindurchgehenden Ebene auf gegenüberliegenden Seiten der Werkzeugachse erfaßt wird.

60. Verfahren nach einem der Ansprüche 54 bis 59,

dadurch gekennzeichnet, daß mit der Meßeinrichtung die Lage der Schneiden optisch erfaßt wird.

61. Verfahren nach einem der Ansprüche 54 bis 59, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Meßeinrichtung die Lage der Schneiden kapazitiv erfaßt wird.

62. Verfahren nach einem der Ansprüche 54 bis 59, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Meßeinrichtung die Lage der Schneiden induktiv erfaßt wird.

63. Verfahren nach einem der Ansprüche 56 bis 62, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Meßeinrichtung die Lage der dynamischen Werkzeugachse relativ zur Werkzeugspindelachse ermittelt wird.

64. Verfahren nach einem der Ansprüche 59 bis 63, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Meßeinrichtung die Lage jeder einzelnen Schneide in der Ebene bestimmt wird.

65. Verfahren nach einem der Ansprüche 54 bis 64, dadurch gekennzeichnet, daß von der Meßeinrichtung die Drehlage des Werkzeugs erfaßt wird.

66. Verfahren nach Anspruch 65, dadurch gekennzeichnet, daß von der Meßeinrichtung die Drehlage des Werkzeugs bezüglich der Ebene erfaßt wird.

67. Verfahren nach einem der Ansprüche 54 bis 66, dadurch gekennzeichnet, daß von der Meßeinrichtung die Flugbahn oder Lage der Schneiden vor oder nach einer bestimmten Zahl von Bearbeitungsvorgängen erfaßt wird.

68. Oberflächenbearbeitungsmaschine umfassend ein Maschinengestell, eine auf dem Maschinengestell angeordnete, um eine Werkzeugspindelachse drehbare Werkzeugspindel mit einer Werkzeugaufnahme und eine auf dem Maschinengestell angeordnete Werkstückaufnahme, wobei die Werkzeugspindel und die Werkstückaufnahme relativ zueinander in Richtung einer senkrecht zur Werkzeugspindelachse verlaufenden X-Achse und einer parallel zur Werkzeugspindelachse verlaufenden Z-Achse bewegbar sind, dadurch gekennzeichnet, daß in die Werkzeugaufnahme (118) ein Referenzwerkzeug (280) und in die Werkstückaufnahme (14) eine Kalibriereinrichtung (286) einsetzbar sind und daß mit der Kalibriereinrichtung (286) eine Null-Lage der Werkzeugspindelachse (46) relativ zur Werkstückaufnahme (12) ausmeßbar ist.

69. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 68, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstückaufnahme (12) als C-Achse drehbar ist.

70. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach Anspruch 68 oder 69, dadurch gekennzeichnet, daß das Referenzwerkzeug ein Meßdorn (280) ist.

71. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 68 bis 70, dadurch gekennzeichnet, daß die Kalibriereinrichtung (286) zwei in einer Ebene eine Außenkontur des Referenzwerkzeugs (180) erfassende Sensoren (296, 298) umfaßt.

72. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 68 bis 71, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoren (296, 298) kapazitive Sensoren sind.

73. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 68 bis 71, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoren (296, 298) induktive Sensoren sind.

74. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 68 bis 71, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoren (296, 298) Luftsensoren sind.

75. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 68 bis 71, dadurch gekennzeichnet,



daß die Sensoren (296, 298) optische Sensoren sind.

76. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 71 bis 75, dadurch gekennzeichnet, daß mittels der Kalibriereinrichtung (286) über die Außenkontur (282) des Referenzwerkzeugs (280) die Lage der Werkzeugspindelachse (46) ermittelbar ist. 5

77. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 71 bis 76, dadurch gekennzeichnet, daß die Parallelität der Werkzeugspindelachse (46) mit der C-Achse durch eine Messung der Außenkontur (282) des Referenzwerkzeugs (280) an zwei in Richtung der Werkzeugspindelachse (46) im Abstand voneinander angeordneten Stellen (306, 310) meßbar ist. 10 15

78. Oberflächenbearbeitungsmaschine nach einem der Ansprüche 68 bis 77, dadurch gekennzeichnet, daß diese nach einem der Ansprüche 1 bis 50 ausgebildet ist.

79. Verfahren zum Bearbeiten einer Oberfläche eines in einer Werkstückaufnahme gehaltenen Werkstücks mittels eines um eine Werkzeugspindelachse rotierenden und von einer Werkzeugspindel rotierend angetriebenen Werkzeugs, wobei das Werkzeug und die Werkzeugaufnahme relativ zueinander in Richtung einer senkrecht zur Werkzeugspindelachse verlaufenden X-Achse und einer parallel zur Werkzeugspindelachse verlaufenden Z-Achse bewegbar sind, dadurch gekennzeichnet, daß in die Werkzeugspindel ein Referenzwerkzeug eingesetzt wird, daß in die Werkstückaufnahme eine Kalibriereinrichtung eingesetzt wird und daß mit der Kalibriereinrichtung eine Null-Lage der Werkzeugspindelachse relativ zur Werkstückaufnahme ausgemessen wird. 20 25 30 35

80. Verfahren nach Anspruch 79, dadurch gekennzeichnet, daß die Kalibriereinrichtung durch die Werkstückaufnahme um eine C-Achse gedreht wird.

81. Verfahren nach Anspruch 79 oder 80, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Kalibriereinrichtung eine Außenkontur des Referenzwerkzeugs gemessen wird. 40

82. Verfahren nach Anspruch 81, dadurch gekennzeichnet, daß durch Messung der Außenkontur des Referenzwerkzeugs die Lage der Werkzeugspindelachse ermittelt wird. 45

83. Verfahren nach Anspruch 81 oder 82, dadurch gekennzeichnet, daß von der Kalibriereinrichtung ein Durchmesser der Außenkontur in einer Ebene ermittelt wird. 50

84. Verfahren nach einem der Ansprüche 80 bis 83, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage der Werkzeugspindelachse durch Drehen der Kalibriereinrichtung um die C-Achse ermittelt wird. 55

85. Verfahren nach einem der Ansprüche 80 bis 84, dadurch gekennzeichnet, daß die Parallelität der Werkzeugspindelachse mit der C-Achse durch eine Messung an zwei in Richtung der Werkzeugspindelachse im Abstand voneinander angeordneten Stellen gemessen wird. 60

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

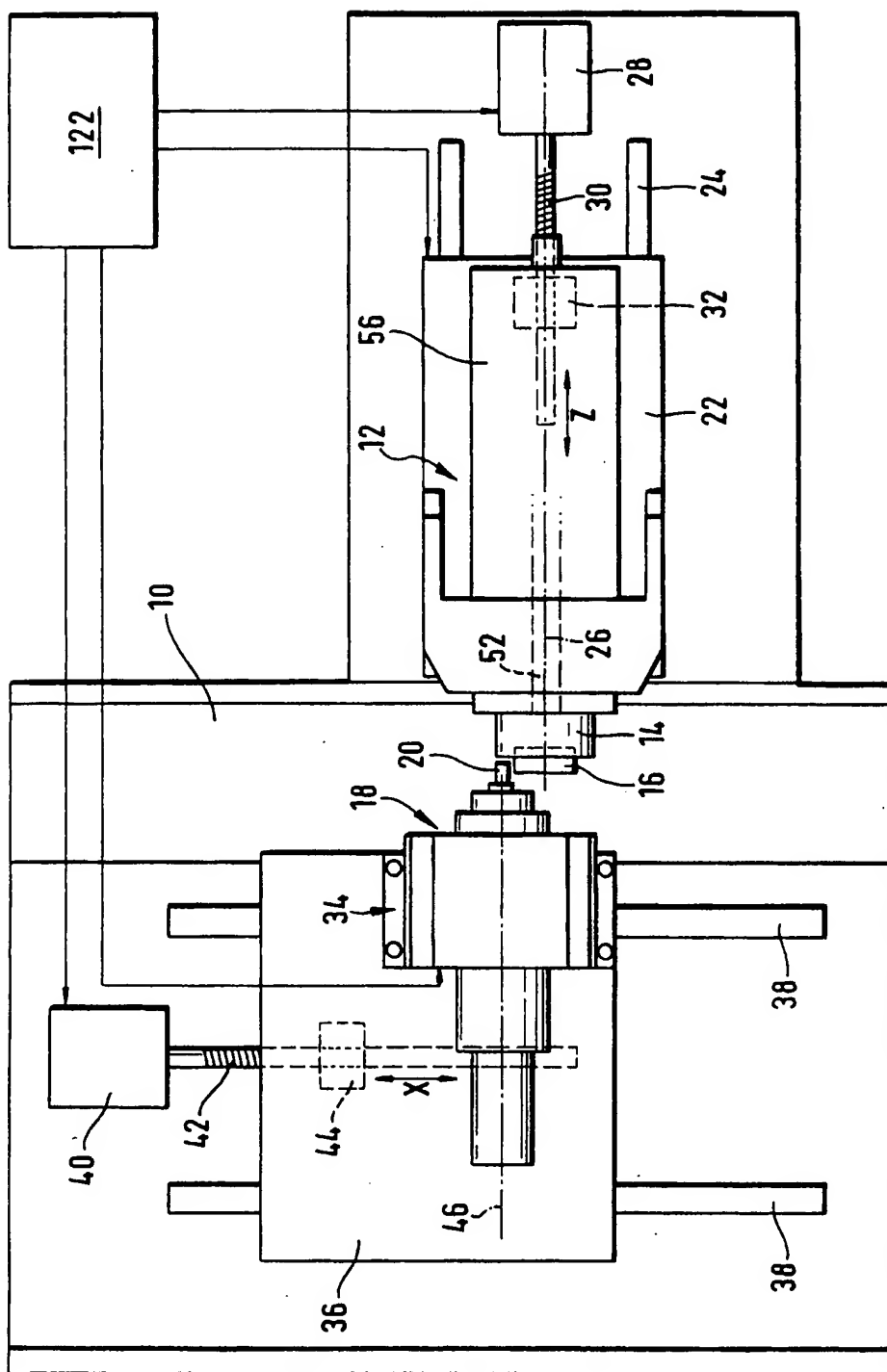


Fig. 1

**Fig. 2**

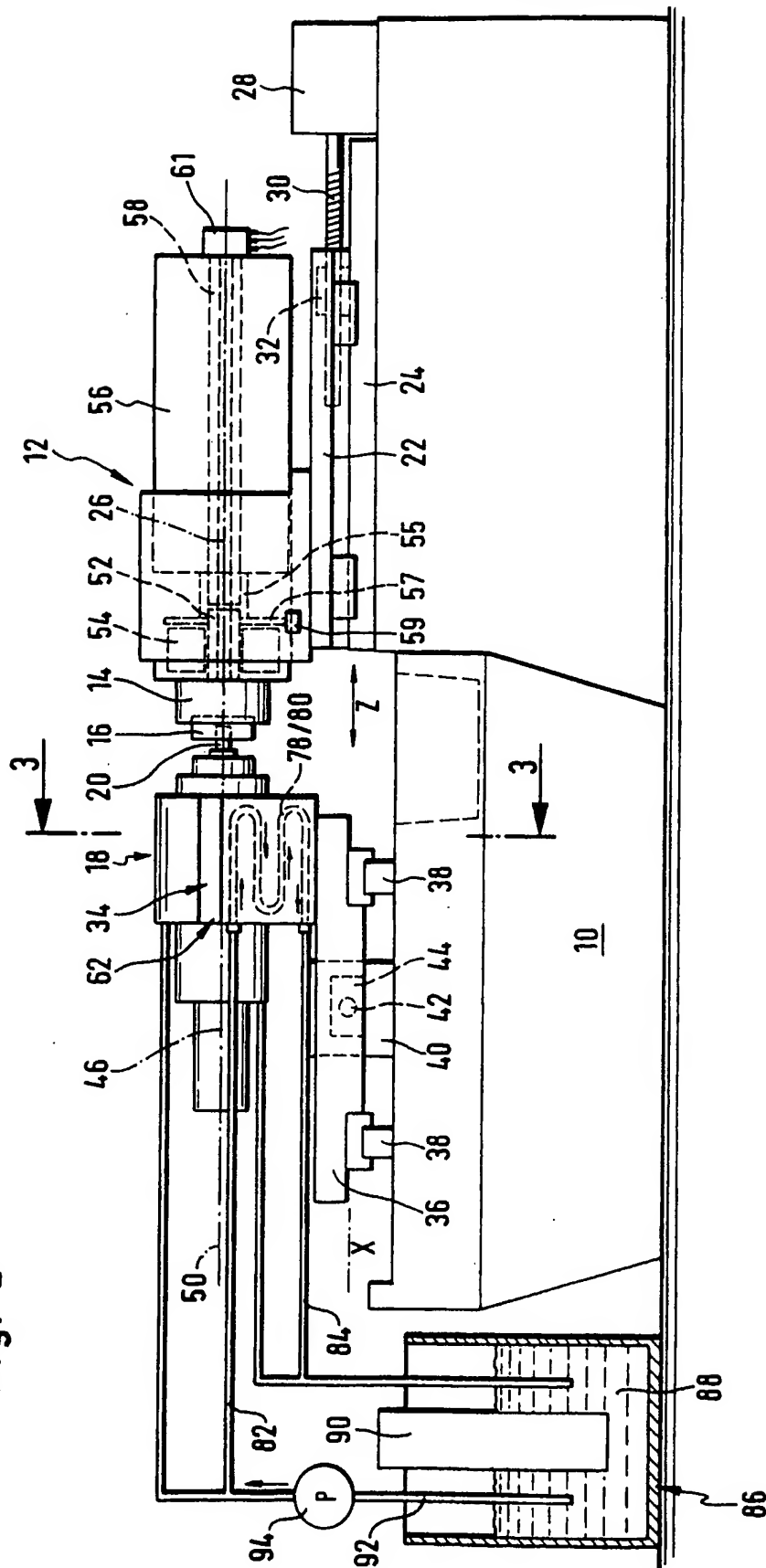


Fig. 3

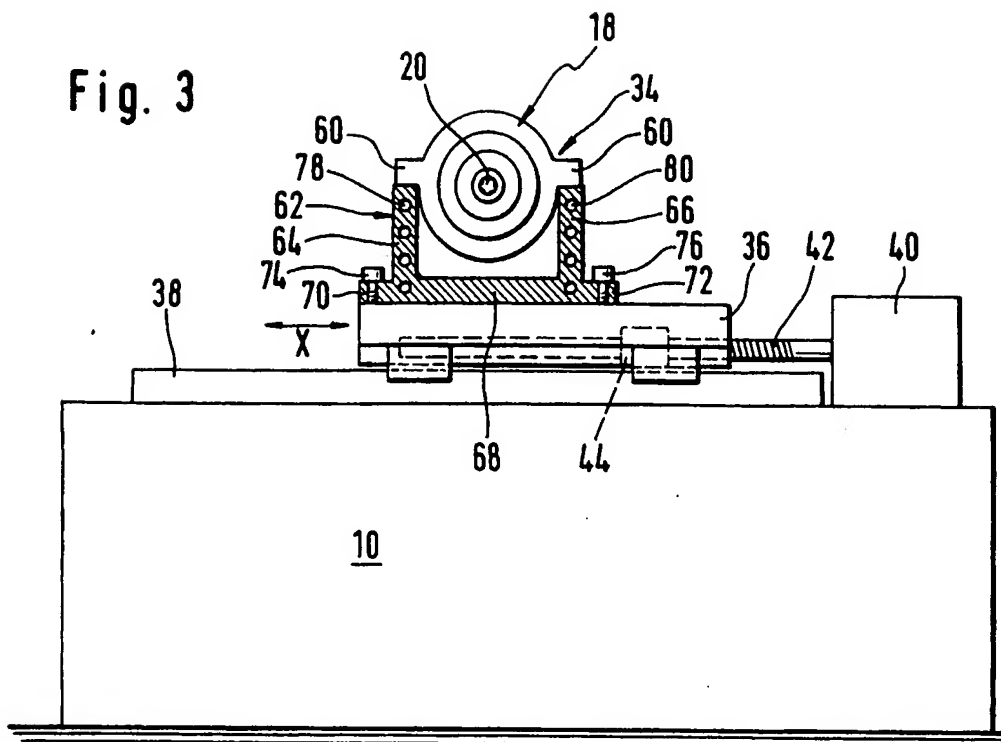
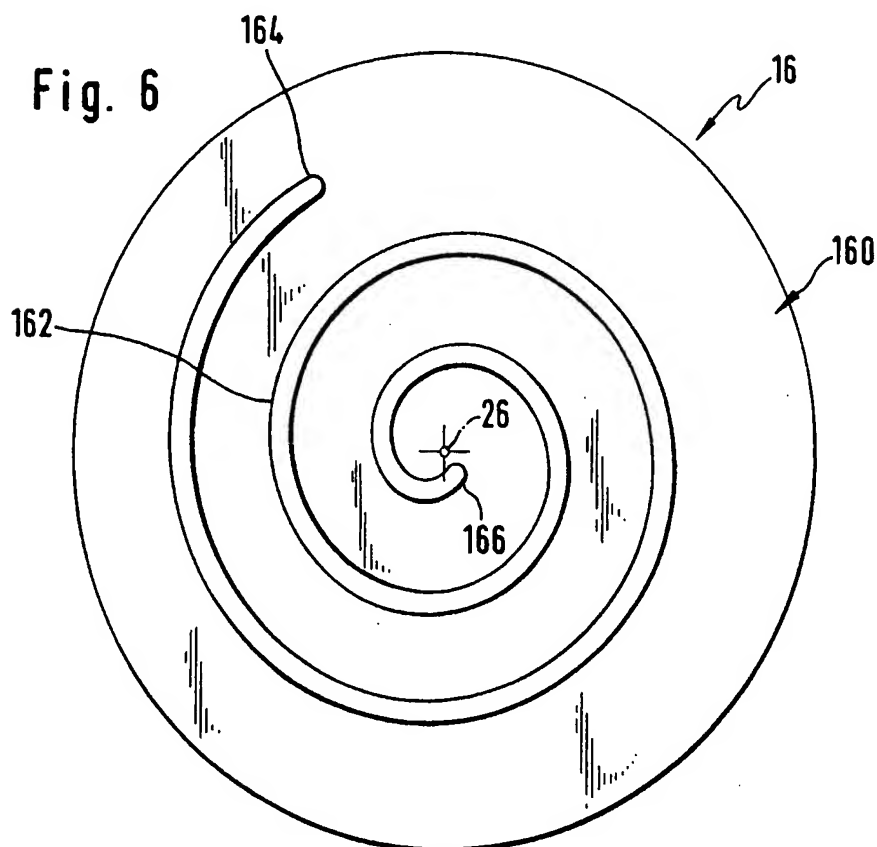


Fig. 6



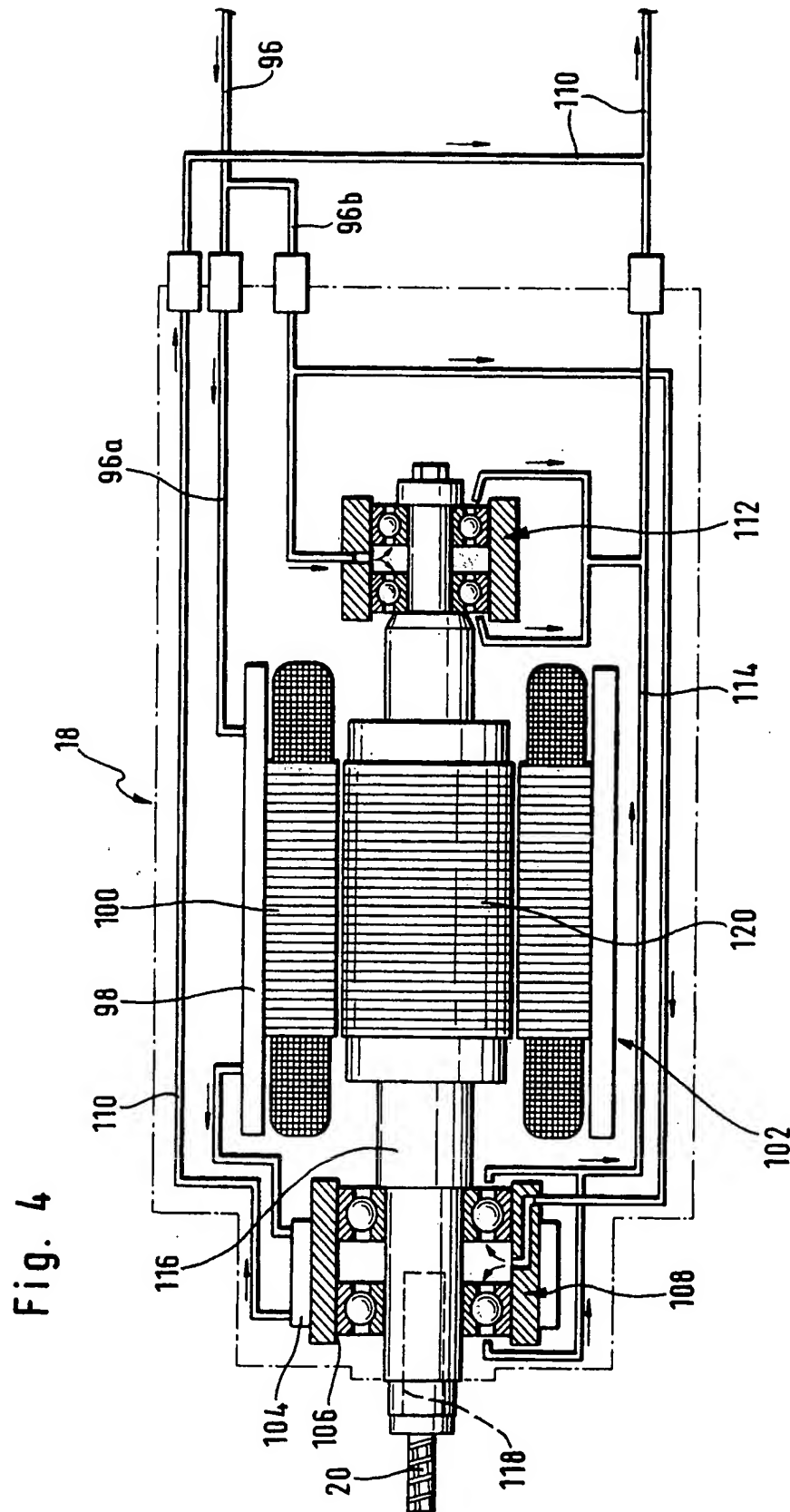
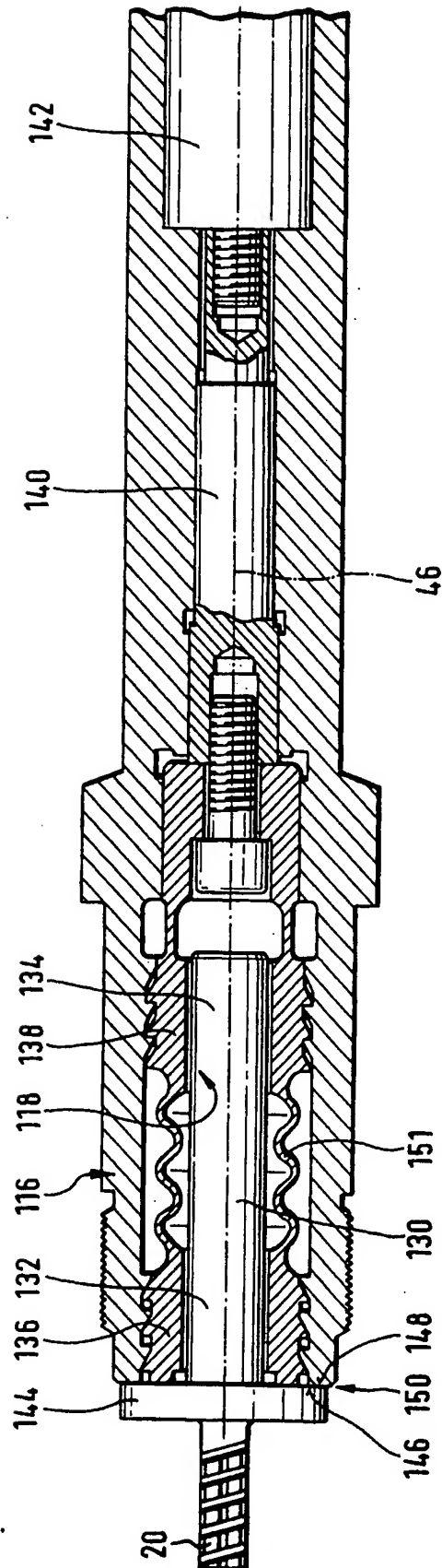


Fig. 5



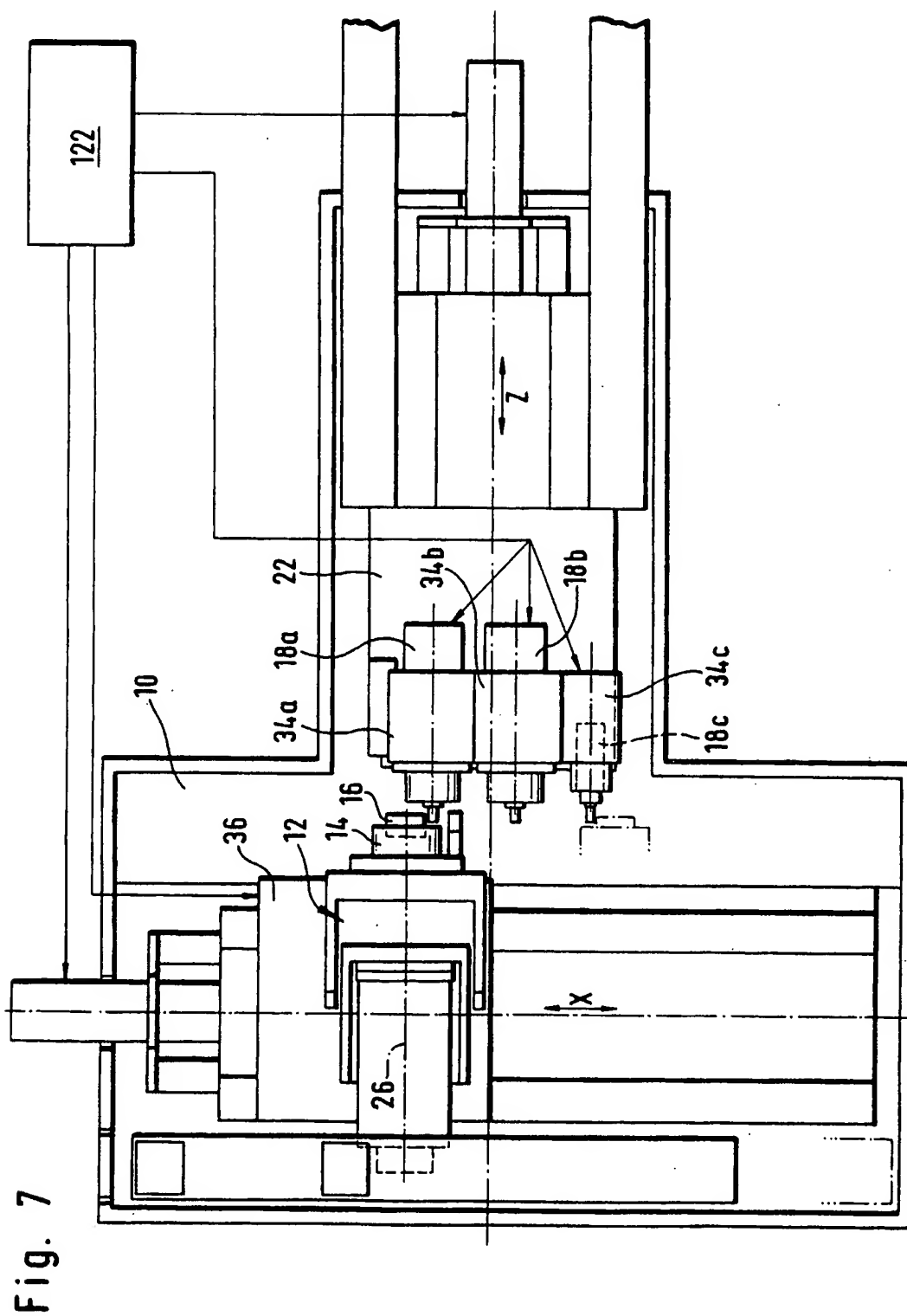
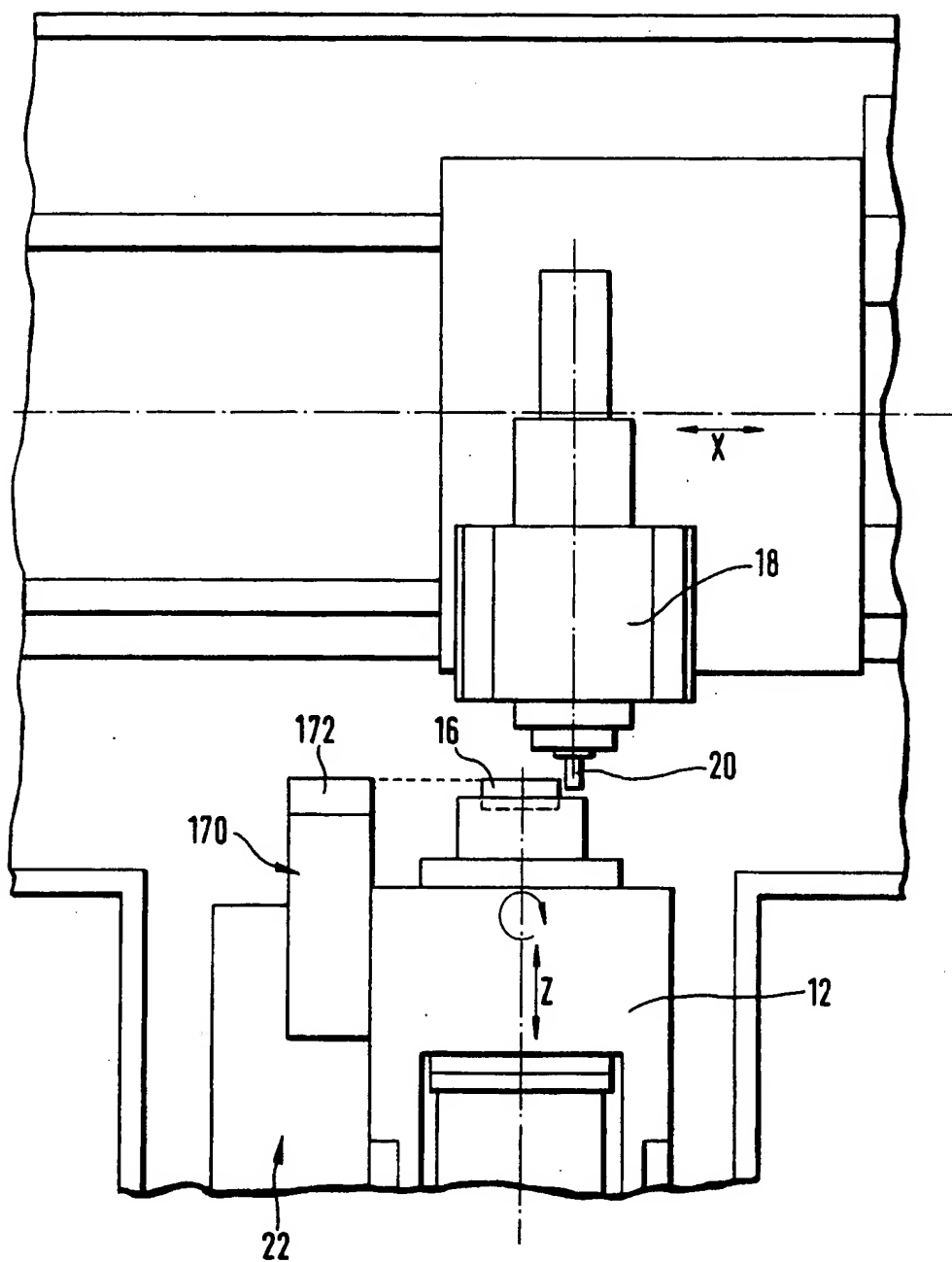




Fig. 8



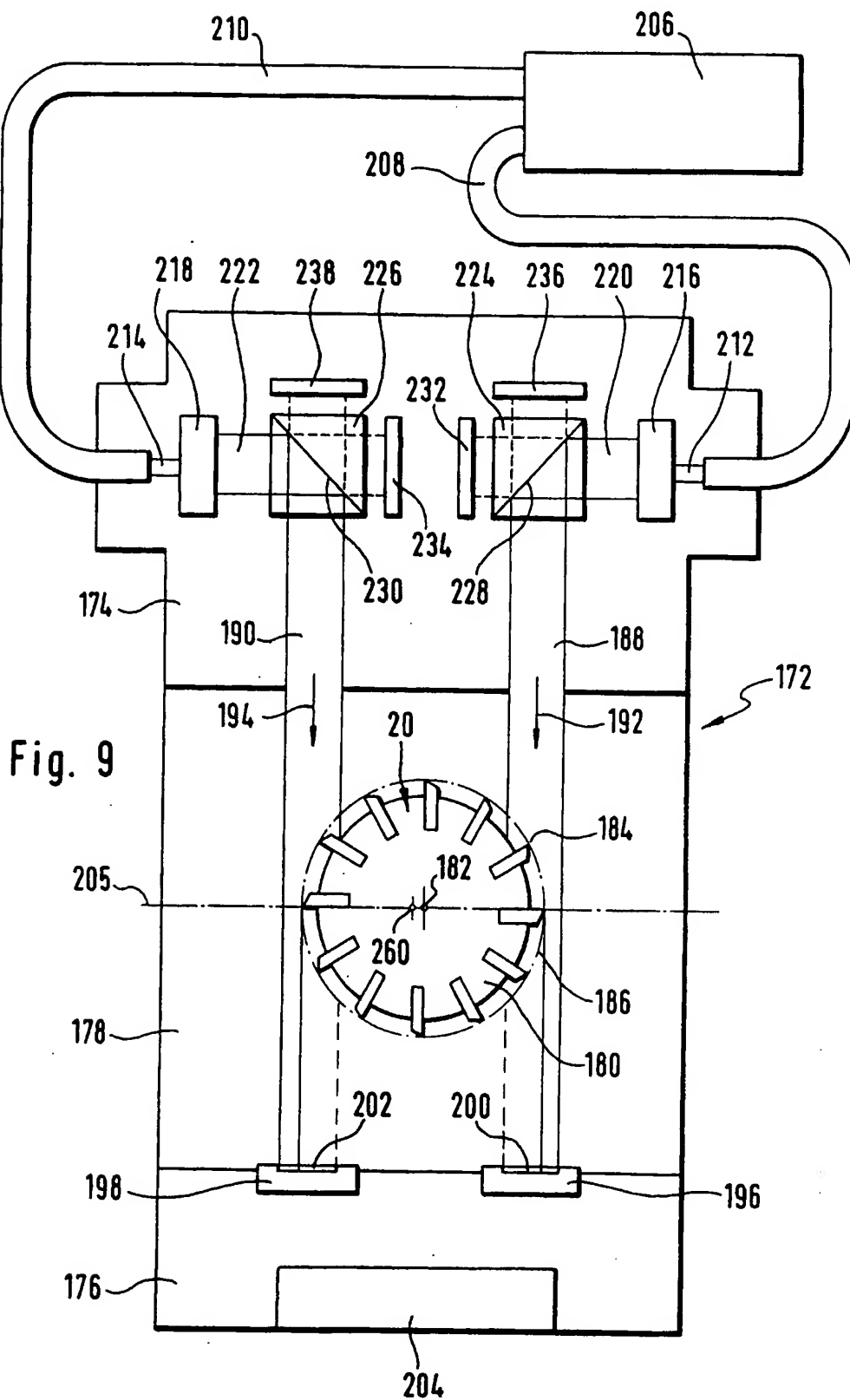


Fig. 10

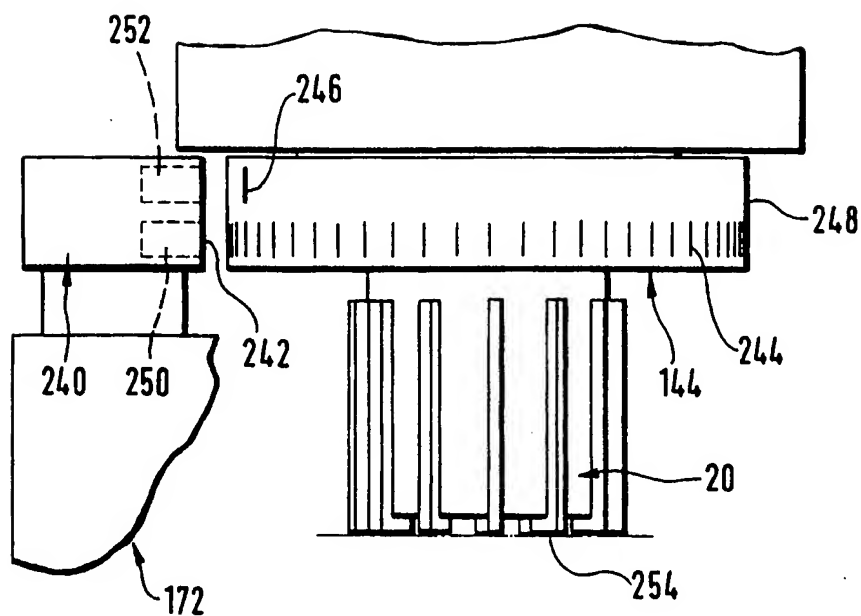


Fig. 11

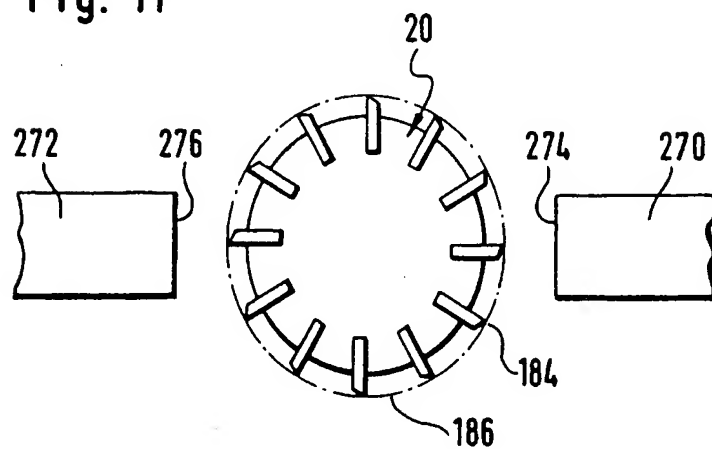


Fig. 12

